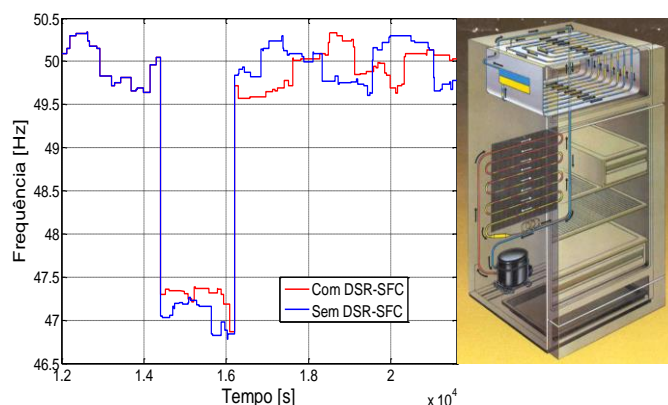




INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação



Estudo e desenvolvimento de modelo de dispositivo controlado por temperatura no contexto de eficiência energética.

Potencial de aplicação para DSR-SF

Vítor Augusto de Jesus Rebelo Colaço

(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador: Doutor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Júri:

Presidente: Professor José Manuel Igreja

Vogais: Professor Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis

Professora Dulce Helena Pereira

Lisboa, Setembro de 2014

“Um dia diante do Senhor é como mil anos e mil anos como um só dia”

(SL 89,4)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar todo o meu reconhecimento pela excelência do meu orientador, Professor Doutor Eng.º Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis, principalmente pelo desafio do tema, opinião crítica, o encorajamento sempre presente e disponibilidade que permitiu o incremento da qualidade do trabalho apresentado.

Ao ISEL, na figura do Departamento de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação (DESPA), docentes e colegas que possibilitaram a oportunidade da realização do mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Especialização em Energia, e o desenvolvimento da presente tese.

Ao meu grande amigo e colega de curso Osvaldo Guerreiro, pelo apoio e ajuda nas horas mais difíceis deste longo percurso académico.

Aos meus padrinhos Augusta e Victor Feiticeiro pela orientação neste mundo novo e grande suporte afetivo sempre atento e presente.

A minha prima Lucia pelo grande apoio nos momentos mais difíceis da minha vida.

Não podia esquecer a minha família, especialmente à minha mãe, que sem ela o percurso da minha vida académica não seria possível.

E por último, um agradecimento muito especial à minha mulher pelas palavras de encorajamento e pelo apoio nos momentos de maior dificuldade ao longo desta dissertação. Pela compreensão, paciência e apoio que me tem dado ao longo destes anos.

Em memória do meu Pai.

Resumo

O objetivo desta dissertação é apresentar uma análise e simulação do potencial de contribuição de cargas equipadas com controladores com funcionalidade DSR-SFC na segurança e estabilidade da rede no que concerne a frequência. Nesse sentido foi desenvolvido um modelo em ambiente MATLAB-simulink de um aparelho controlado por temperatura sensível a variação de frequência, do tipo frigorífico doméstico.

Na construção do modelo foram analisados os parâmetros que influenciam o consumo e determinam a sua classificação de eficiência energética. A partir dos dados obtidos pela análise dos parâmetros e através do algoritmo de classificação de dados “k-means” é sugerida uma nova abordagem à classificação energética atual que inclua os parâmetros de entrada do modelo.

Os ensaios realizados com um agregado constituído por cargas equipadas com controladores com funcionalidade DSR-SFC permitiram identificar os parâmetros da curva que minimizam a variação do set-point e maximizam o controlo da frequência.

Da análise dos dados da simulação constatou-se um elevado potencial na utilização de aparelhos equipados com controladores de temperatura com a funcionalidade DSR-SFC na contribuição para o controlo de frequência.

Palavras-chave: Eficiência energética, k-means, DSR-SFC.

ABSTRACT

The objective of this dissertation is to present an analysis and simulation of the potential contribution of loads equipped with controllers with DSR-SFC functionality in security and network stability with regard to frequency. In this sense a model was developed in MATLAB-Simulink environment of a controlled temperature sensitive to frequency variation, the domestic refrigerator type device.

In the construction of model, the parameters that influence consumption and determine its energy efficiency rating were analyzed. From the data obtained by analyzing the parameters and using the data classification "k-means" algorithm is suggested a new approach to current energy rating that includes the input parameters of the model.

The tests performed with an aggregate formed by loads equipped with controllers with DSR-SFC functionality allowed identification of the curve parameters that minimize set-point variation and maximize the frequency control.

Data analysis of the simulation was found a high potential in the use of devices equipped with temperature controllers with the DSR-SFC functionality in contributing to frequency control

Keywords: Energy efficiency, k-means, DSR-SFC.

Índice

Capítulo-1.	Introdução	1
1.1	Enquadramento e motivação	2
1.2	Objetivos	4
1.3	Estrutura	5
Capítulo-2.	Modelo de carga controlada por temperatura	6
2.1	Frigorífico.....	7
2.2	Modelo	10
2.2.1	Cálculo térmico	10
2.2.2	Carga térmica do frigorífico (CTF)	11
2.2.3	Resistência térmica (R_t)	13
2.2.4	Controlador	15
2.3	Implementação do modelo em Matlab.....	16
2.3.1	Modelo em MATLAB Simulink.....	17
2.4	Estudo do frigorífico real	19
2.4.1	Ensaio e validação.....	24
2.5	Conclusão.....	29
Capítulo-3.	Classificação energética de aparelho controlado por temperatura	30
3.1	Caraterização	31
3.2	Parâmetros que influenciam o consumo.....	35
3.3	Análise da classificação energética	41
3.4	Análise custo-benefício	45
3.5	Conclusão.....	50
3.6	Proposta de nova classificação energética	50
Capítulo-4.	Curva de funcionamento DSR-SFC	59
4.1	Introdução	60
4.2	Agregação de sistemas DSR SFC.....	63
4.2.1	Caraterização da população.....	63
4.2.2	Caraterização do agregado	66
4.3	Metodologia da simulação	69
4.3.1	Cenários	69
4.3.2	Curvas do DSR-SFC.....	72
4.3.3	Visão da ENTSO-E	75

4.4	Resultados da simulação	76
4.4.1	Resposta da DSR-SFC a um aumento de frequência	76
4.4.2	Resposta do DSR-SFC a uma redução de frequência.....	84
4.5	Conclusão.....	91
Capítulo-5.	Conclusões	92
5.1	Observações finais.....	93
5.2	Perspetivas de trabalhos futuros	94
	Referências Bibliográficas.....	95
	ANEXOS.....	97
	Anexo A	97
	Anexo B	99
	Anexo C	124

Índice de Figuras

Figura 1-1 Repartição do consumo doméstico [3]	3
Figura 2-1 Frigorífico	7
Figura 2-2 Máquina Térmica de Carnot	8
Figura 2-3 Diagrama de blocos do modelo do frigorífico	10
Figura 2-4 Bloco de cálculo térmico.....	11
Figura 2-5 Associação de resistências.....	13
Figura 2-6 Planificação das paredes do frigorífico	14
Figura 2-7 Cálculo da resistência térmica do frigorífico	14
Figura 2-8 Janela do controlador com histerese	15
Figura 2-9 Diagrama de blocos do modelo em Simulink	17
Figura 2-10 Função cálculo térmico	18
Figura 2-11 Função termostato	18
Figura 2-12 Esquema de ligação (conexões monofásicas) do FLUKE 1735 (manual do fabricante) [3]	19
Figura 2-13 Gráfico exportado do analisador de rede Fluke	20
Figura 2-14 Pormenor do gráfico (analisador de rede Fluke)	21
Figura 2-15 Ciclo de funcionamento do compressor modelo matemático	26
Figura 2-16 Gráfico de funcionamento do compressor modelo real (analisador de rede FLUKE)	26
Figura 2-17 Evolução da temperatura no Interior do frigorífico	27
Figura 4-1 Ambiente de simulação	73
Figura 4-2 Diagrama das curvas do DSR-SFC simuladas	74
Figura 4-3 Objetivos da ENTSO-E [17].....	75
Figura 4-4 Etapas da simulação para cenário “over frequency” c/s DSR-SFC	78
Figura 4-5 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 1.....	79
Figura 4-6 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 2.....	79
Figura 4-7 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 3.....	80
Figura 4-8 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 4.....	80
Figura 4-9 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 5.....	80
Figura 4-10 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 6.....	81
Figura 4-11 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 7.....	81
Figura 4-12 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 8.....	82
Figura 4-13 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 9.....	82
Figura 4-14 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 10.....	83
Figura 4-15 Cenário “over frequency” c/s DSR-SFC curva 11.....	83
Figura 4-16 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 01.....	86
Figura 4-17 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 02.....	86
Figura 4-18 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 03.....	87
Figura 4-19 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 04.....	87
Figura 4-20 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 05.....	88
Figura 4-21 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 06.....	88
Figura 4-22 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 07.....	88
Figura 4-23 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 08.....	89
Figura 4-24 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 09.....	89
Figura 4-25 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 010.....	90
Figura 4-26 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 011.....	90
Figura 4-27 Cenário “under frequency” c/s DSR-SFC curva 012.....	90
Figura 0-1 Levantamento dos equipamentos por classe de eficiência energética em Portugal [2]	97
Figura 0-2 Caracterização dos grandes eletrodomésticos em Portugal [2].....	98
Figura 0-3 Características do modelo real (Frigorífico Siemens KD42VX10)	98
Figura 0-4 Tabela de compressores (fonte EMBRACO)	124

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 Calor específico dos alimentos [5]	12
Tabela 2-2 Cálculo da carga térmica do frigorífico	12
Tabela 2-3 Ciclo de funcionamento do compressor	21
Tabela 2-4 Cálculo da resistência global	23
Tabela 2-5 Parâmetros do frigorífico real	24
Tabela 2-6 Cálculo da resistência global	24
Tabela 2-7 Cálculo térmico do frigorífico real	25
Tabela 2-8 Parâmetros do modelo matemático	28
Tabela 3-1 Parâmetros $M\alpha$ e $N\alpha$ [4]	32
Tabela 3-2 Classes de eficiência energética [4]	32
Tabela 3-3 Parâmetros FF, CC, BI e CH [4]	33
Tabela 3-4 Classificação energética do modelo real	33
Tabela 3-5 Cálculos da classificação energética do modelo	38
Tabela 3-6 Pontos dos centróides energia $K=2$	55
Tabela 3-7 Pontos dos Centróides custo benefício $K=2$	57
Tabela 4-1 Famílias clássicas por número de indivíduos [13]	64
Tabela 4-2 Capacidade do frigorífico em função da dimensão do agregado [14]	64
Tabela 4-3 Estimativa do parque de frigoríficos em Portugal	64
Tabela 4-4 Potência recomendada do motor por capacidade do frigorífico [16]	65
Tabela 4-5 Distribuição do parque de frigoríficos por classes de eficiência energética	65
Tabela 4-6 Caracterização do parque de frigoríficos em Portugal	66
Tabela 4-7 Cálculo do consumo anual de referência para os modelos em estudo	67
Tabela 4-8 Consumos anuais dos modelos em estudo.	68
Tabela 4-9 Características dos modelos da simulação	69
Tabela 4-10 Características físicas dos modelos	71
Tabela 4-11 Variação da energia e frequência da simulação do agregado C/S função DSR-SFC cenário OF	76
Tabela 4-12 Comparação da simulação do agregado c/s função DSR-SFC cenário " <i>under frequency</i> "	84
Tabela 0-1 Dados da simulação para o estudo da eficiência energética	99
Tabela 0-2 Resultados da simulação agregado c/s DSR-SFC cenário " <i>over frequency</i> "	125
Tabela 0-3 Resultados da simulação agregado c/s DSR-SFC cenário " <i>under frequency</i> "	126

Índice de Gráficos

Gráfico 3-1 Curvas de temperatura para as diversas resistências térmicas (R_t)	36
Gráfico 3-2 Curvas de temperatura para diferentes cargas térmicas do frigorífico (CTF)	36
Gráfico 3-3 Variação do consumo energético anual com rendimento constante ($\eta=1,61$)	37
Gráfico 3-4 Variação do consumo energético anual com resistência térmica constante ($R_t=0,86$)	39
Gráfico 3-5 Variação do consumo energético anual com carga térmica constante (CTF=8,54)	40
Gráfico 3-6 Classificação energética do pequeno utilizador (CTF=3) 3D	42
Gráfico 3-7 Classificação energética do pequeno utilizador (CTF=3 - curvas de nível)	42
Gráfico 3-8 Classificação energética do utilizador médio (CTF=7) 3D	43
Gráfico 3-9 Classificação energética do utilizador médio (CTF=7 - curvas de nível)	43
Gráfico 3-10 Classificação energética do grande utilizador (CTF=12) 3D	44
Gráfico 3-11 Classificação energética do grande utilizador (CTF=12 - curvas de nível)	44
Gráfico 3-12 Relação custo-benefício pequeno utilizador (CTF=3) 3D	47
Gráfico 3-13 Relação custo-benefício pequeno utilizador (CTF=3) curvas de nível	47
Gráfico 3-14 Relação custo-benefício utilizador médio (CTF=7) 3D	48
Gráfico 3-15 Relação custo-benefício utilizador médio (CTF=7) curvas de nível	48
Gráfico 3-16 Relação custo-benefício grande utilizador (CTF=12) 3D	49
Gráfico 3-17 Relação custo-benefício grande utilizador (CTF=12) curvas de nível	49
Gráfico 3-18 Silhueta “clustering” energia $K=6$	53
Gráfico 3-19 Silhueta “clustering” energia $K=3$	53
Gráfico 3-20 Silhueta “clustering” energia $K=2$	54
Gráfico 3-21 Pontos “clustering” energia $K=2$	54
Gráfico 3-22 Silhueta “clustering” custo benefício $K=6$	55
Gráfico 3-23 Silhueta “clustering” custo benefício $K=3$	55
Gráfico 3-24 Silhueta “clustering” custo benefício $K=2$	56
Gráfico 3-25 Pontos “clustering” custo benefício $K=2$	57
Gráfico 4-1 Curva de funcionamento de um DSR SFC	62

Abreviaturas e Símbolos

SEE Sistemas Elétricos de Energia

TSO Transmission System Operator

DSR-SFC “Demand Side Response System Frequency Control”

T Temperatura

RT Resistência Térmica

CTF Carga Térmica do Frigorífico

COP “Coefficient of Performance”

UE União Europeia

ENTSO-E “European Network of Transmission System Operators for Electricity”

DCC “Demand Connection Code”

DSR APC “Demand Side Response Active Power Control”

DSR RPC “Demand Side Response Reactive Power Control”

DSR LVDD “Demand Side Response Low Voltage Demand Disconnection”

DSR LFDD “Demand Side Response Low Frequency Demand Disconnection”

DSR SFC “Demand Side Response System Frequency Control”

SFC “System Frequency Control”

FC “Frequency Control”

GU Grande Utilizador

MU Médio Utilizador

PU Pequeno Utilizador

Capítulo-1. Introdução

Enquadramento do tema da dissertação e dos objetivos a que se propõem.

1.1 Enquadramento e motivação

Atualmente o planeamento, construção, manutenção e gestão operacional são uma das funções tradicionalmente afetas aos operadores de rede de transporte. Os TSO “*Transmission System Operator*”, operadores dos sistemas de transporte de energia elétrica, providenciam igualmente a gestão do parque de linhas e interligações constituintes de uma rede elétrica nacional. Historicamente é atribuída aos TSO, que são os gestores do sistema (em Portugal a REN), em coordenação com centrais de produção de energia elétrica, a capacidade técnica de assegurar a estabilidade da rede elétrica. Esta salvaguarda da segurança e integridade da rede elétrica é conseguida ajustando a produção à demanda em tempo real. Se a produção não conseguir acompanhar o consumo e garantir a estabilidade da rede, os TSO efetuam em caso de emergência um deslastre de cargas. Este deslastre de carga é “imposto” sendo de um modo geral “cego” às necessidades desta, embora salvaguardando uma política predefinida de setores/consumidores a deslastrar. Neste contexto não existe a possibilidade da carga providenciar uma resposta que possa contribuir para a resolução da perturbação. Um dos principais motivos é o facto de a carga não dispor de recursos tecnológicos que permitam de uma forma fiável e rápida, providenciar uma resposta adequada à perturbação.

As “*smart-grid*”, que constituem um novo paradigma no SEE permitem modificar a gestão e controlo da estabilidade da rede elétrica. A carga passa a ser um parceiro ativo e complementar na gestão e controlo das redes

A natureza ativa da carga e a forma como interage com a rede elétrica requer um conjunto de requisitos que devem ser respeitados. Estes requisitos estão previstos no código Europeu DCC “*Demand Connection Code*” [1], proposto pela ENTSO-E, “*European Network of Transmission System Operators for Electricity*” [2], no âmbito da resolução 714/2009 da União Europeia.

Neste código são indicados os requisitos que devem ser respeitados pelas cargas que tenham capacidade de providenciar “*Demand Side Response System Frequency Control*” (DSR SFC) a ser aplicados a aparelhos controlados por temperatura tais como ar-condicionado, aquecimento, frigoríficos, arcas congeladoras, etc.

No presente trabalho, dos vários aparelhos controlados por temperatura selecionámos o frigorífico doméstico. O frigorífico doméstico corresponde em média a 22% do consumo doméstico representando o maior segmento, como pode ser observado na Figura 1-1.

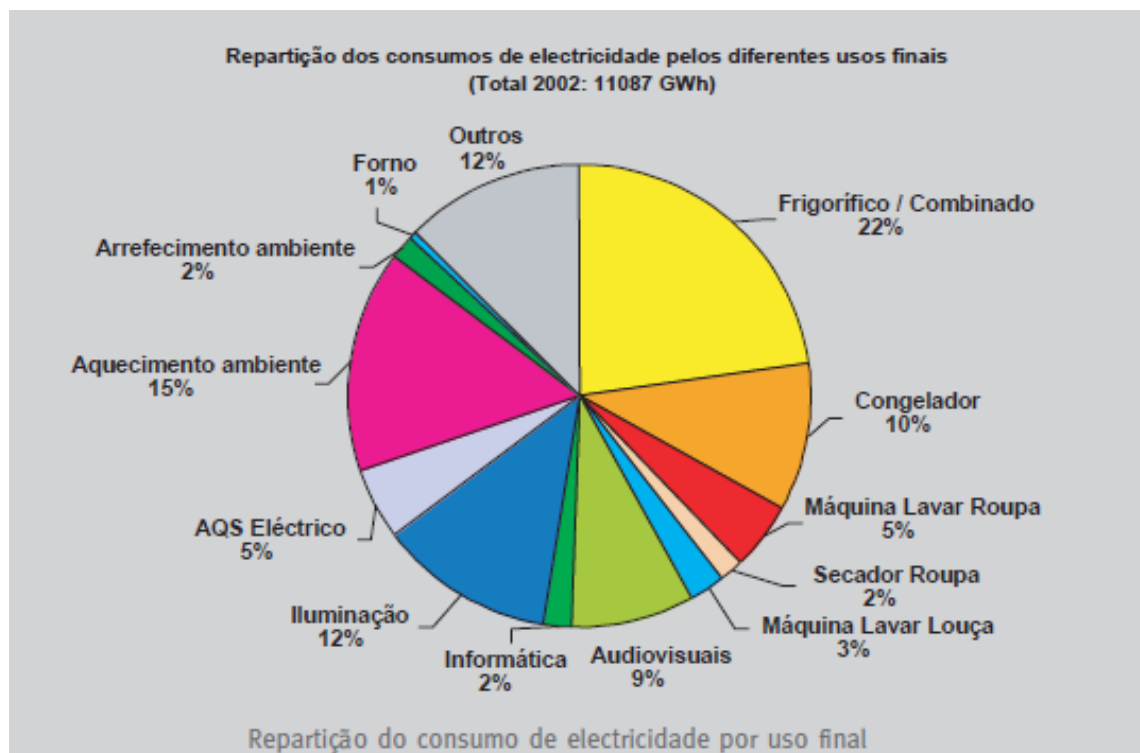


Figura 1-1 Repartição do consumo doméstico [3]

Existem em Portugal 6.043.048 frigoríficos e arcas congeladoras de acordo com o inquérito ao consumo de energia no sector doméstico de 2010. Cada frigorífico/arca frigorífica tem um consumo médio anual aproximado de 550 [kWh] totalizando um consumo anual total estimado em 3.323,68 [GWh] de energia. O consumo energético em Portugal no ano de 2010 foi de 52.204 [GWh] [3]. Estes dados permitem concluir que a energia consumida pelos frigoríficos/arcas frigoríficas representa sensivelmente 6,36% do total.

Torna-se pois pertinente estudar e analisar em que medida estes aparelhos podem contribuir para o DSR de acordo com as funcionalidades plasmadas no futuro regulamento Europeu da DCC.

1.2 Objetivos

O DSR SFC “*Demand Side Response System Frequency Control*” é uma funcionalidade que quando aplicada ao controlador de temperatura dos frigoríficos alteram o set-point do termostato atrasando ou adiantando o arranque do compressor. Se a frequência da rede sentida pelo controlador com funcionalidade DSR-SFC estiver abaixo de um valor estipulado pelo operador de rede de transporte o controlador com a função DSR SFC ajusta o set-point do termostato para um valor superior atrasando o arranque do compressor. Este efeito sobre um agregado de cargas significativo pode contribuir para um melhor controlo de frequência evitando a ligação de cargas numa ocorrência já débil para o sistema e deste modo, dependendo do volume em causa pode inibir o disparo de relés de frequência mínima evitando interrupções de fornecimento de energia.

Os objetivos desta dissertação são:

- 1) Desenvolver o modelo da carga controlada por temperatura baseado no frigorífico doméstico.
- 2) Estudo e identificação dos parâmetros que mais influenciam o desempenho do modelo desenvolvido.
- 3) Análise da influência dos parâmetros na classificação e estudo do “*labelling*” atual e proposta de nova classificação numa perspetiva de custo benefício
- 4) Estudo de um agregado de cargas controladas por temperatura e equipados com funcionalidade DSR-SFC e desempenho das suas curvas de funcionamento.

1.3 Estrutura

Para além do presente capítulo, esta dissertação é composta por mais quatro capítulos.

No capítulo 2 apresentamos uma proposta de modelo do frigorífico. Este modelo está fundamentado nas três leis da termodinâmica. É efetuado uma comparação com um modelo real, através de um analisador de rede.

No capítulo 3, identificamos e estudamos os parâmetros que influenciam o desempenho energético do frigorífico. Através de um estudo custo benefício e um algoritmo de classificação de dados o “*k-means*” propõe-se um novo “*labelling*”

No capítulo 4, com recurso ao modelo desenvolvido no capítulo 2, apresentamos um modelo de um agregador de cargas equipadas com controladores com funcionalidade DSR SFC. Identificamos e caracterizamos igualmente os parâmetros mais significativos da curva de funcionamento do DSR SFC

No capítulo 5, apresentamos as conclusões e as perspetivas de trabalhos futuros.

Capítulo-2. Modelo de carga controlada por temperatura

Desenvolvimento do modelo de carga controlada por temperatura e comparação com um frigorífico doméstico.

2.1 Frigorífico

O frigorífico doméstico é uma máquina térmica que podemos sintetizar em dois grandes blocos, o invólucro e o sistema de frio.

O invólucro compreende as paredes e portas constituídos por material isolante, revestimento e vedantes, que em conjunto constituem uma barreira resistente à transferência de energia térmica entre o interior e o exterior do frigorífico.

O sistema de frio é composto pelo compressor, evaporador, condensador, tubagens, válvulas, termostatos e gás refrigerante. O sistema de frio permite repor a diferença térmica entre o interior e o exterior. Deste modo a temperatura no interior é mantida num intervalo de tempo pré estabelecido.

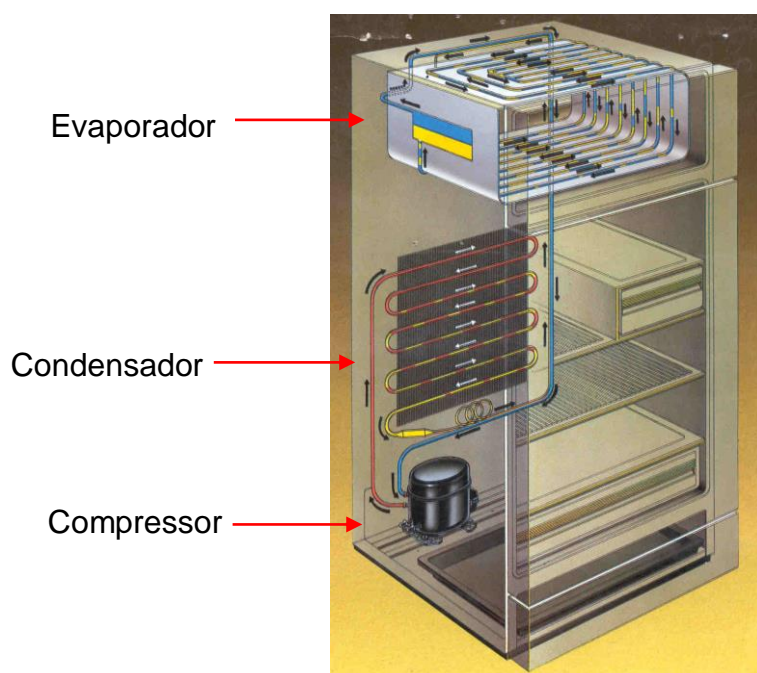


Figura 2-1 Frigorífico

No que concerne à forma de operação do frigorífico este é caracterizado por duas etapas principais, ativa e passiva. A etapa ativa corresponde à entrada em funcionamento do sistema de frio, dando-se início ao ciclo de arrefecimento. O ciclo de arrefecimento é baseado no princípio da máquina térmica de Carnot exemplificado na Figura 2-2.

De um modo sucinto, a partir da Figura 2-2 podemos observar que o gás refrigerante é comprimido no compressor aumentando de pressão e temperatura,

passa do ponto 1 para o ponto 2 da figura. Em seguida transita por um dispositivo constituído por uma serpentina, designado por condensador que promove a troca de calor do gás para o ambiente. Esta troca ocorre devido à compressão do gás, este aumenta de pressão e temperatura, sendo esta muito superior à temperatura ambiente, o que favorece a troca de calor com o exterior. Passa do ponto 2 para o ponto 3 da figura. Quando sai do condensador o gás refrigerante está no estado líquido e é atomizado por intermédio de uma válvula expansora no lado da aspiração do compressor, zona de baixa pressão, formando gotículas de líquido que devido à baixa pressão diminui de temperatura, passa do ponto 3 para o ponto 4 da figura. Estas gotículas transitam por um dispositivo constituído de novo por uma serpentina, designado evaporador. Estas gotículas recebem energia calorífica dos produtos que estão em contacto com o evaporador diminuindo a sua temperatura e provocam a evaporação do gás refrigerante, passa do ponto 4 para o ponto 1 da figura. E o ciclo repete-se enquanto o compressor estiver a funcionar. Em resumo o gás refrigerante serve de veículo de transmissão da energia térmica entre o interior e o exterior. Recebe a energia calorífica dos produtos existentes no interior do frigorífico mais propriamente no evaporador e rejeita para o exterior através do condensador.

A esta etapa designamos de ativa porque implica o funcionamento do compressor mecânico através de um motor elétrico.

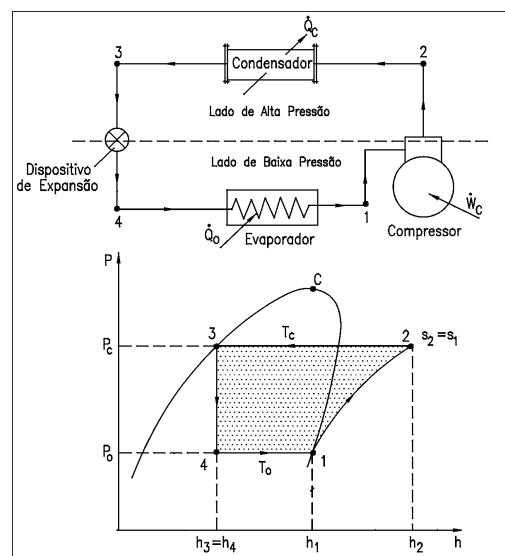


Figura 2-2 Máquina Térmica de Carnot

Na etapa passiva o sistema de frio está desligado. O estado passivo corresponde ao ciclo de aquecimento dos produtos que estão no interior do frigorífico. Posterior ao ciclo de frio, a temperatura dentro do frigorífico, é baixa e tende a subir por transferência de energia calorífica do exterior.

A transferência de energia entre o interior e exterior do frigorífico é regida pela segunda lei da termodinâmica ou lei de Fourier da condução [4].

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Podemos simplificar esta expressão assumindo que a temperatura varia linearmente ao longo da espessura Δx [4].

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.2)$$

$\frac{dQ}{dt}$ – Quantidade de calor transferido por unidade de tempo [Cal./s]

k - Condutividade térmica do material [Cal.m⁻¹°C⁻¹]

A – Área do condutor exposto à diferença de temperatura [m²]

ΔT - Diferença de temperatura entre o exterior e o interior do frigorífico [°C]

Δx - Espessura da parede [m]

Para além da condução existem mais três formas de dissipação de calor; a difusão, a convecção e a irradiação.

- A difusão é a tendência que as moléculas de gás ou líquido têm de movimentar-se das zonas de maior concentração para as de menor concentração. Associadas a esta transferência de massa está uma transferência de energia sobre a forma de energia cinética das moléculas e consequentemente de calor.
- A convecção é o fenómeno de transferência de calor quando duas massas de ar se encontram, transferindo calor da massa de ar da temperatura mais alta para a mais baixa.
- A irradiação é a propriedade de todos os corpos de emitirem energia à temperatura superior a zero graus Kelvin sobre a forma de radiação eletromagnética.

Estas três formas de transmissão de calor não são explicitamente consideradas neste trabalho porque a influência que representam no valor global é insignificante.

2.2 Modelo

Com base na secção anterior elaboramos um modelo baseado no frigorífico doméstico que permite simular o seu funcionamento. Na Figura 2-3 apresentamos o diagrama de blocos funcional do modelo implementado.

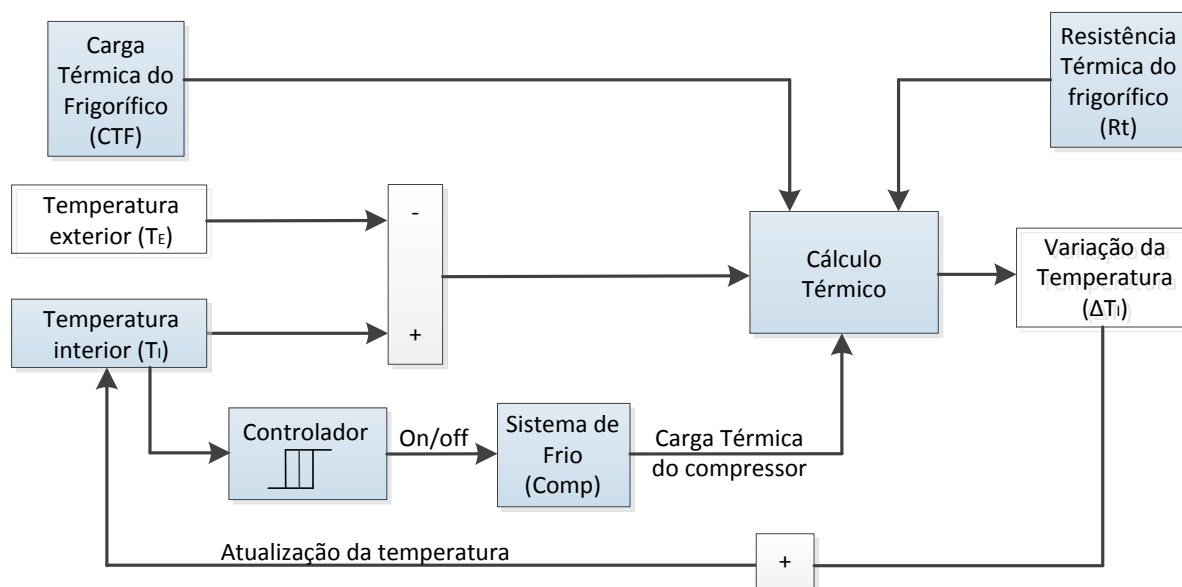


Figura 2-3 Diagrama de blocos do modelo do frigorífico

Nas secções seguintes apresentamos de forma sucinta os principais blocos que constituem o modelo do frigorífico como indicado na Figura 2-3.

2.2.1 Cálculo térmico

No bloco do cálculo térmico apresentado no diagrama de blocos calculamos o balanço térmico entre o interior e o exterior do frigorífico.

Na lei de Fourier da condução o parâmetro KA (condutividade térmica por unidade de área) é uma constante porque para um dado sistema a área constituída pelas paredes que o isolam não varia bem como as suas características térmicas. Então passámos a designar esta constante por $\lambda = kA$.

Define-se resistência térmica (R_t) de um material como a razão da sua espessura pelo produto da área e pela condutividade térmica:

$$RT = \frac{\Delta x}{\lambda} \quad (2.3)$$

Podemos então reescrever a lei de Fourier da seguinte forma:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta T}{RT} \quad (2.4)$$

Em cada instante este bloco calcula a energia térmica transferida do exterior para o interior. Então podemos simplificar a expressão anterior:

$$Q = \frac{\Delta T}{RT} \quad (2.5)$$

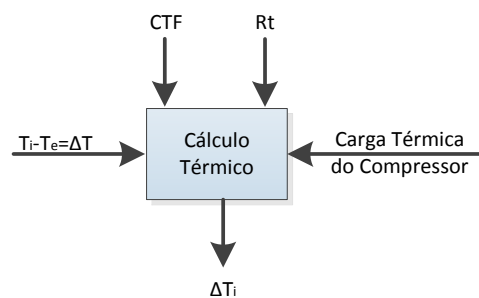


Figura 2-4 Bloco de cálculo térmico

Como parâmetros de entrada este bloco Figura 2-4, necessita da diferença de temperatura entre o exterior e o interior, da resistência térmica das paredes confinantes do frigorífico e da CTF, e como parâmetro de saída a variação da temperatura interior.

Quando esta atinge a temperatura selecionada no controlador, o compressor entra em funcionamento e transfere a energia calorífica do interior para o exterior. Neste estágio a energia transferida do interior para o exterior do frigorífico é devido ao ciclo de frio anteriormente descrito sendo iniciado pela entrada em funcionamento do compressor. Ao compressor está associado um determinado fluxo de carga térmica que também é um parâmetro de entrada do bloco de cálculo térmico. Estes dois fluxos são subtraídos, sendo superior o fluxo do interior para o exterior, a temperatura desce no interior do frigorífico.

2.2.2 Carga térmica do frigorífico (CTF)

A carga térmica existente no interior do frigorífico é constituída pelo ar e os vários produtos a refrigerar.

A quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grau centígrado de um determinado corpo, representa o seu calor específico.

Na Tabela 2-1 podemos observar algumas estimativas de calor específico para determinados alimentos.

Calor específico de alguns alimentos armazenados em ambiente refrigerado	
Produto	Calor específico (cal/g · °C)
pato	0,41
frango	0,42
carne bovina	0,43
carne suína	0,33
peixes	0,44
queijo prato	0,31
manteiga	0,25
frutas	0,48

Tabela 2-1 Calor específico dos alimentos [5]

Através do calor específico podemos determinar a carga térmica existente no frigorífico.

Um exemplo de cálculo estimado da carga térmica do frigorífico está representado na Tabela 2-2.

Tabela 2-2 Cálculo da carga térmica do frigorífico

Carga Térmica do Frigorífico			
	Calor Específico [cal/g.°C]	Peso [kg]	Carga Térmica [Cal/°C]
Tomate	0,95	1,5	1425,00
Cenoura	0,46	1,6	736,00
Alface	0,96	1	960,00
Ovos	0,74	(12 ovos) 0,816	603,84
Maçã	0,87	1,4	1218,00
Leite	0,9	1,5	1350,00
Manteiga	0,33	0,5	165,00
Água	1	2	2000,00
Ar	0,24	(282 Lit.) 0,3666	87,98
Total			8545,82

Se não existir nenhuma alteração na massa dos produtos do interior do frigorífico esta carga térmica é constante. Se tivermos em conta a temperatura, obtemos a energia térmica total existente no interior do frigorífico.

Devido à diferença de temperatura existe um fluxo de energia calorífica entre o exterior e o interior. A energia térmica no interior do frigorífico aumenta porque a massa dos produtos que estão no seu interior é constante, originando um aumento da temperatura. Ao atingir a temperatura $T + \Delta T$ seleccionada no controlador este coloca em funcionamento o motor do compressor dando início ao ciclo de refrigeração. A energia calorífica retirada ao interior do frigorífico é superior ao fluxo que ocorre entre o interior e exterior. Deste modo a temperatura no interior do frigorífico desce. Quando atinge a temperatura $T - \Delta T$ seleccionada no controlador, este coloca em repouso o motor do compressor cessando o ciclo de frio e repetindo o ciclo. Este é o princípio subjacente ao modelo do frigorífico implementado.

2.2.3 Resistência térmica (R_t)

A vantagem de se trabalhar com a resistência térmica, em oposição com a condutividade térmica é que, no caso do fluxo de energia por condução de um sistema composto por diferentes camadas em série ou paralelo, pode-se aplicar as mesmas regras da associação de resistências elétricas como se ilustra na Figura 2-5 [4].

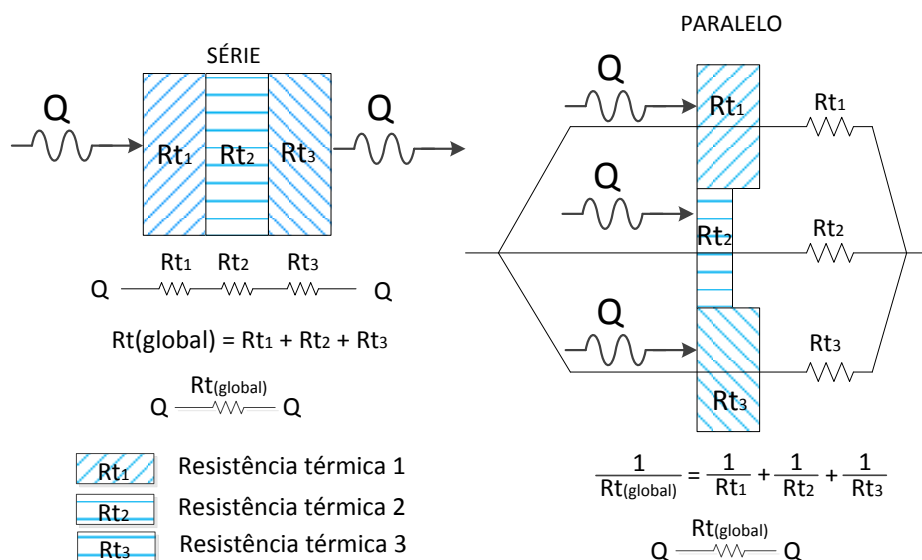


Figura 2-5 Associação de resistências

Considerando um volume constituído pelas paredes indicadas na Figura 2-6 a) estas podem ser planificadas de acordo com Figura 2-6 b).

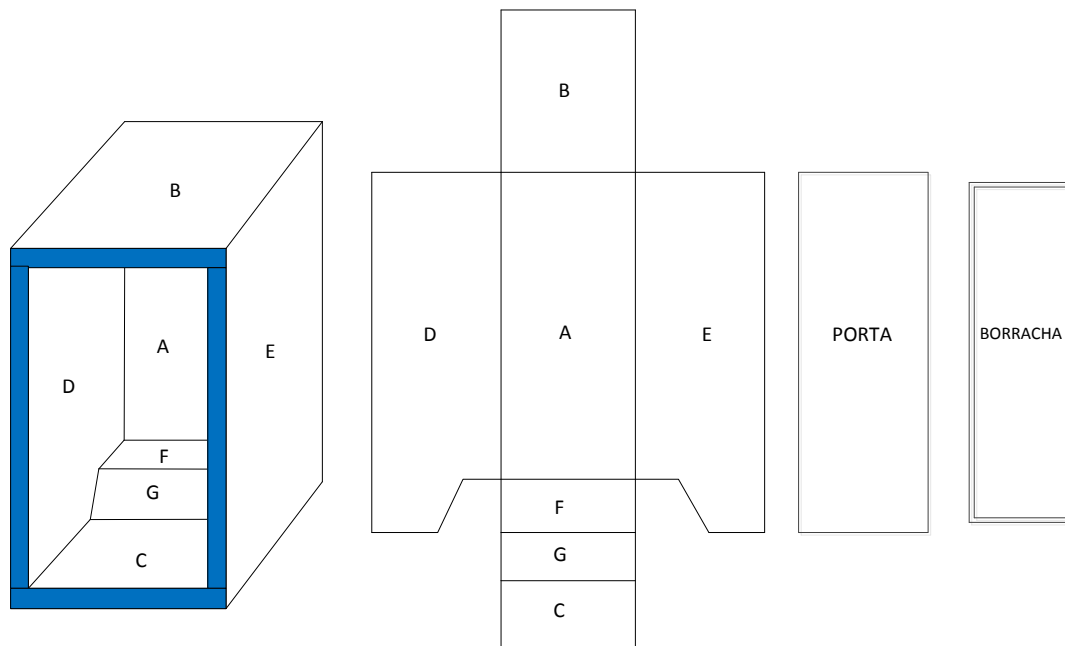


Figura 2-6 Planificação das paredes do frigorífico

Uma vez que a cada parede frigorífica corresponde uma resistência térmica, a resistência térmica global será o paralelo de todas as resistências representativas de cada parede do frigorífico como indicado na Figura 2-7.

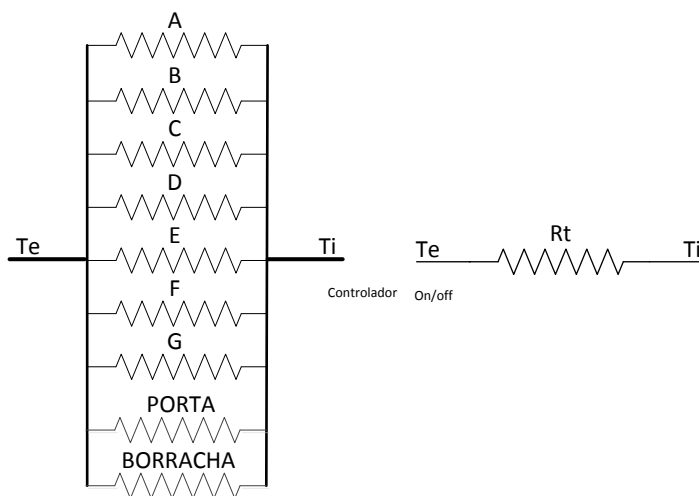


Figura 2-7 Cálculo da resistência térmica do frigorífico

O isolamento mais comum nos frigoríficos domésticos é a espuma de poliuretano que tem uma condutibilidade térmica entre 0,017 e 0,020 [kcal/h.m.°C]. Para o estudo considerámos o valor mais comum de 0,018 [kcal/h.m.°C].

2.2.4 Controlador

Todos os alimentos perecíveis tendem a contaminar-se com microrganismos existentes no meio ambiente e a deteriorarem-se. A refrigeração dos produtos perecíveis a temperaturas entre os 2 [°C] e os 7 [°C] inibe ou torna o metabolismo mais lento, retardando a sua deterioração.

A temperatura ideal do interior do frigorífico deverá ser de 5 [°C] contudo esta não é uniforme no frigorífico. Nas prateleiras do fundo a temperatura ronda os 2 [°C], nas prateleiras do meio 5 [°C] e nas superiores 8 [°C]. A temperatura de referência do set-point do controlador é normalmente de 5 [°C], e encontra-se normalmente localizada no meio do compartimento do frigorífico.

Os frigoríficos são máquinas térmicas com inercia grande, requerem uma banda morta de temperatura entre o ligar do compressor e o desligar. Esta banda morta evita a oscilação rápida entre a etapa ativa e passiva de funcionamento do frigorífico.

As etapas ativa e passiva de funcionamento do frigorífico são faseadas por um controlador de janela de histerese, comandada pelo utilizador que seleciona uma determinada temperatura T . A temperatura selecionada é o centro da janela de histerese, originando um intervalo entre $T-\Delta T$ e $T+\Delta T$ conforme Figura 2-8.

Quando a temperatura no interior do frigorífico atinge a temperatura $T+\Delta T$ aciona o motor do compressor iniciando o ciclo de arrefecimento, impulsinando o gás frigorífico pelo circuito de frio. Neste ciclo a energia calorífica retirada aos produtos que estão no interior do frigorífico é superior à transferência entre o exterior e o interior, originando um arrefecimento do interior. A temperatura desce até $T-\Delta T$ e o controlador dá ordem ao motor do compressor para desligar, cessando o ciclo de frio.

O termostato tem uma janela histerética que pode oscilar entre $\pm 0,5$ [°C] e os ± 2 [°C] em torno do set-point.

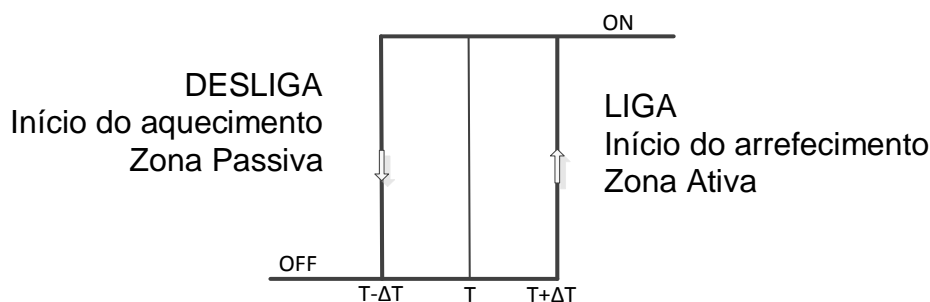


Figura 2-8 Janela do controlador com histerese

2.3 Implementação do modelo em Matlab.

MATLAB é uma ferramenta informática interativa orientada para o cálculo numérico. O MATLAB integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos em ambiente onde os problemas e soluções são expressos matematicamente, ao contrário da programação tradicional. O *MATLAB* é um sistema interativo cujo elemento básico de informação é uma matriz que não requer dimensionamento [6].

O *Simulink* é uma aplicação inserida no *MATLAB* com a finalidade de modelar, simular e analisar sistemas dinâmicos lineares e não-lineares em tempo contínuo ou discreto. Com um interface gráfico permite a construção de modelos como diagramas de blocos, a partir de uma biblioteca de blocos pré-definidos assim com também a customização dos blocos existentes ou a criação de novos blocos. Esta aplicação oferece uma completa integração com o ambiente MATLAB [6].

Com este modelo desenvolvido em *MATLAB Simulink* pretende-se dotar este estudo de uma ferramenta, que permita a simulação de diversos cenários de operação.

2.3.1 Modelo em MATLAB Simulink

Na Figura 2-9 apresentamos o modelo desenvolvido em MATLAB Simulink, tendo por base o modelo proposto na Figura 2-4.

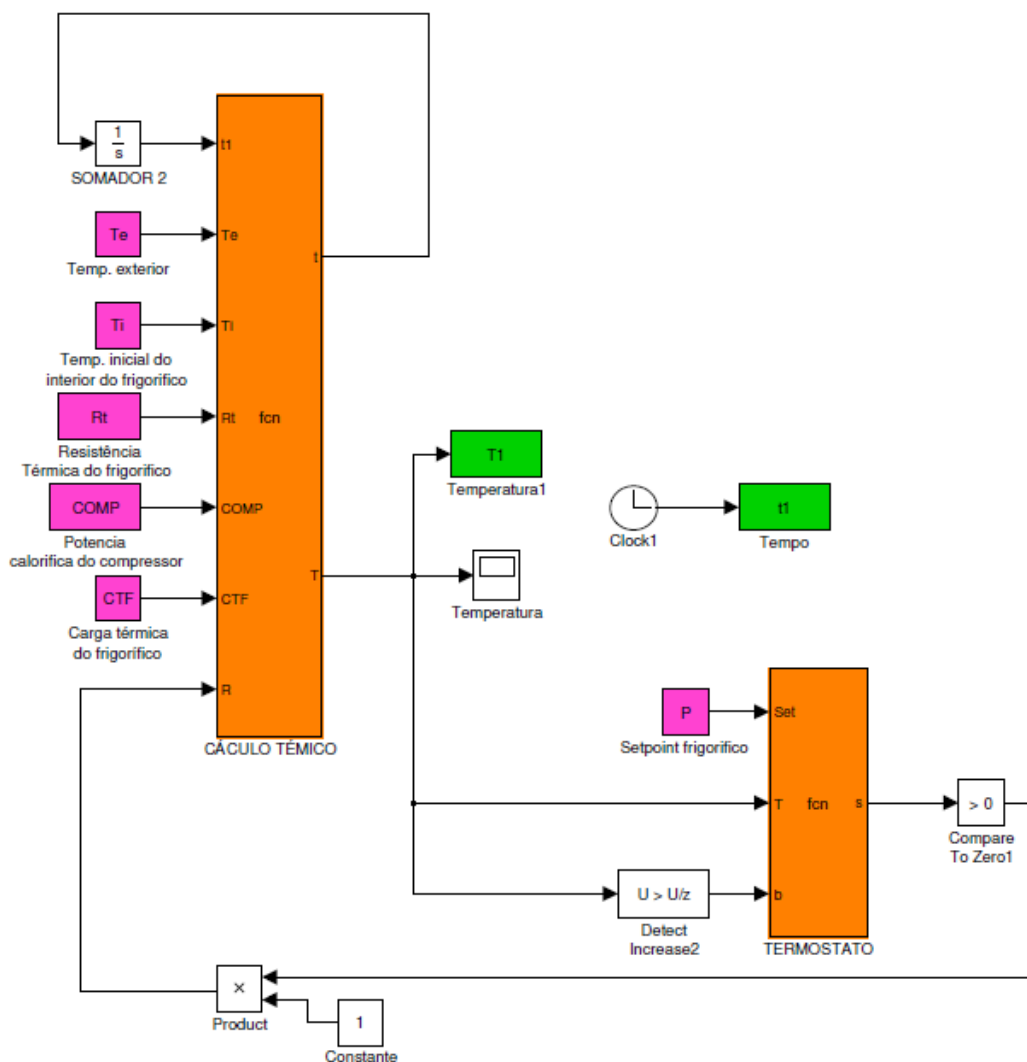


Figura 2-9 Diagrama de blocos do modelo em Simulink

O modelo matemático do frigorífico é constituído por dois blocos nucleares: O cálculo térmico e o termostato. Ambos são constituídos por um bloco existente na biblioteca de blocos do Simulink denominado “Embedded MATLAB Function” que permite programar uma função matemática.

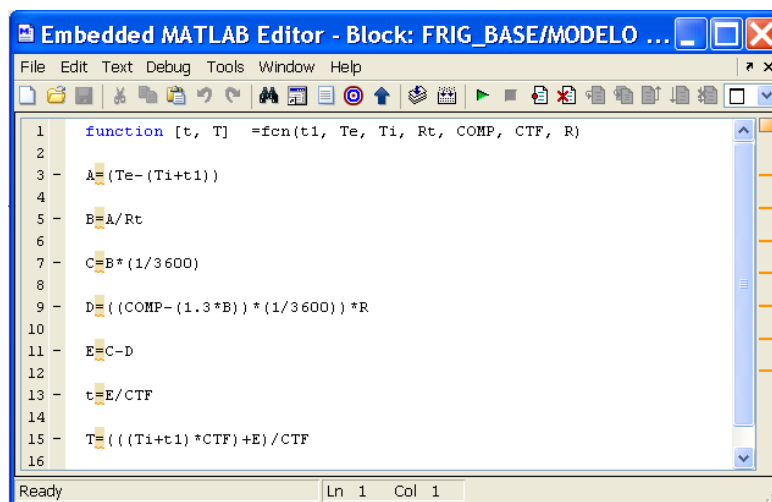
Na Figura 2-10 encontra-se ilustrada a programação inserida na função cálculo térmico. A programação efetuada está em consonância com o que é descrito na secção 2.2.1. e seguintes.

Na saída “t” está presente a variação da temperatura em cada instante. Esta é

somada pelo bloco integrador tornando-se num parâmetro de entrada. Este parâmetro é somado á temperatura inicial permitindo em cada passo de cálculo atualizar a temperatura interior do frigorífico.

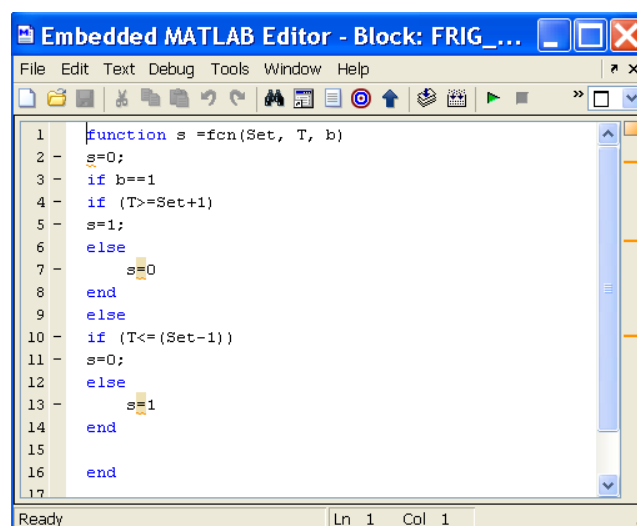
Para simplificação do modelo não entrámos com o cálculo térmico do congelador, porque o frigorífico estudado só tem um compressor e um termostato localizado no compartimento refrigerado, ou seja, o comando do ciclo de funcionamento é efetuado pela temperatura do frigorífico e não a do congelador. Mas sempre que o compressor arranca o gás frigorífico passa primeiro pela serpentina do congelador onde procede a troca de calor, só depois é que passa pela serpentina do frigorífico. Deste modo só existe a necessidade de um único termostato para comando do aparelho.

Para incorporarmos as perdas no congelador incrementámos 30% das perdas no frigorífico.



```
1 function [t, T] =fcn(t1, Te, Ti, Rt, COMP, CTF, R)
2
3 A=(Te-(Ti+t1))
4
5 B=A/Rt
6
7 C=B*(1/3600)
8
9 D=((COMP-(1.3*B))*(1/3600))*R
10
11 E=C-D
12
13 t=E/CTF
14
15 T=((Ti+t1)*CTF+E)/CTF
16
```

Figura 2-10 Função cálculo térmico



```
1 function s =fcn(Set, T, b)
2 s=0;
3 if b==1
4 if (T>=Set+1)
5 s=1;
6 else
7 s=0
8 end
9 else
10 if (T<=(Set-1))
11 s=0;
12 else
13 s=1
14 end
15
16 end
17
```

Figura 2-11 Função termostato

O bloco termostato tem uma função de histerese embebida. Esta função recebe de um bloco exterior a informação se a temperatura está a subir ou a descer. Se estiver a subir e atingir o valor do set-point mais o valor da janela histerética ($T+\Delta T$) o termostato passa para o estado 1 e dá ordem de funcionamento ao motor do compressor. Se estiver a descer e atingir o valor de set-point menos o valor da janela histerética ($T-\Delta T$) o termostato dá ordem de repouso ao motor do compressor. Se a temperatura está compreendida na janela histerética o termostato não altera o seu estado. Na Figura 2-11 está apresentada a programação da função Termostato.

2.4 Estudo do frigorífico real

Para validarmos o modelo frigorífico desenvolvido em MATLAB Simulink comparámos com um modelo real.

Efetuamos um estudo energético a um frigorífico modelo KD42VX10 da Siemens. Frigorífico com duas portas, congelador e frigorífico, classificação energética A.

O volume do congelador é de 132L e do frigorífico de 282L. O compressor é de 170 [W]. As características deste frigorífico encontram-se ilustradas na Figura 0-3 no anexo A.

Para recolha de dados do comportamento energético do frigorífico utilizamos um analisador de rede. O analisador de rede utilizado é o FLUKE, modelo 1735 “Power Logger” [7]. Este analisador de rede permite-nos efetuar um registo temporal da tensão, corrente e potência do equipamento em análise. Efetuamos as ligações com as sondas de corrente e tensão disponibilizadas pelo equipamento. As sondas amperimétricas são constituídas por transformadores de intensidade do tipo toroidal. As sondas voltimétricas são constituídas por alicates.

As ligações são efetuadas de acordo com o especificado pelo fabricante e como indicado Figura 2-12 [7].

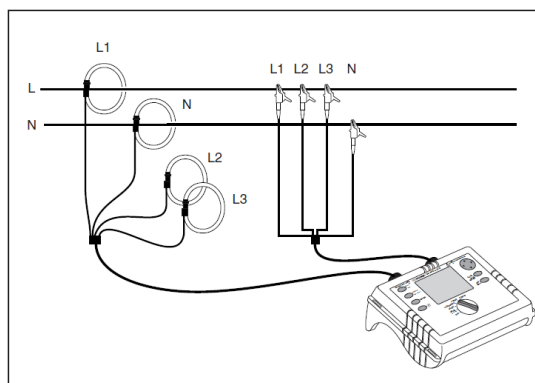


Figura 2-12 Esquema de ligação (conexões monofásicas) do FLUKE 1735 (manual do fabricante) [3]

Na Figura 2-13 e Figura 2-14 apresentamos o ciclo de funcionamento do compressor a partir do gráfico exportado pelo analisador de rede FLUKE 1735. Este gráfico apresenta no eixo das abcissas o tempo em minutos e no eixo das ordenadas a corrente. É observável um pico de arranque do compressor de curta duração, na ordem dos 15 a 20 [In]. É perfeitamente visível uma alternância entre o ciclo desligado e ligado. Os intervalos entre ciclos apresentam uma regularidade no funcionamento.

Este gráfico poem em evidenciados os ciclos de trabalho durante 24 horas de funcionamento do frigorífico.

Este ensaio foi efetuado nas condições reais de funcionamento e utilização por parte de um agregado familiar constituído por 4 pessoas, dois adultos e 2 adolescentes.

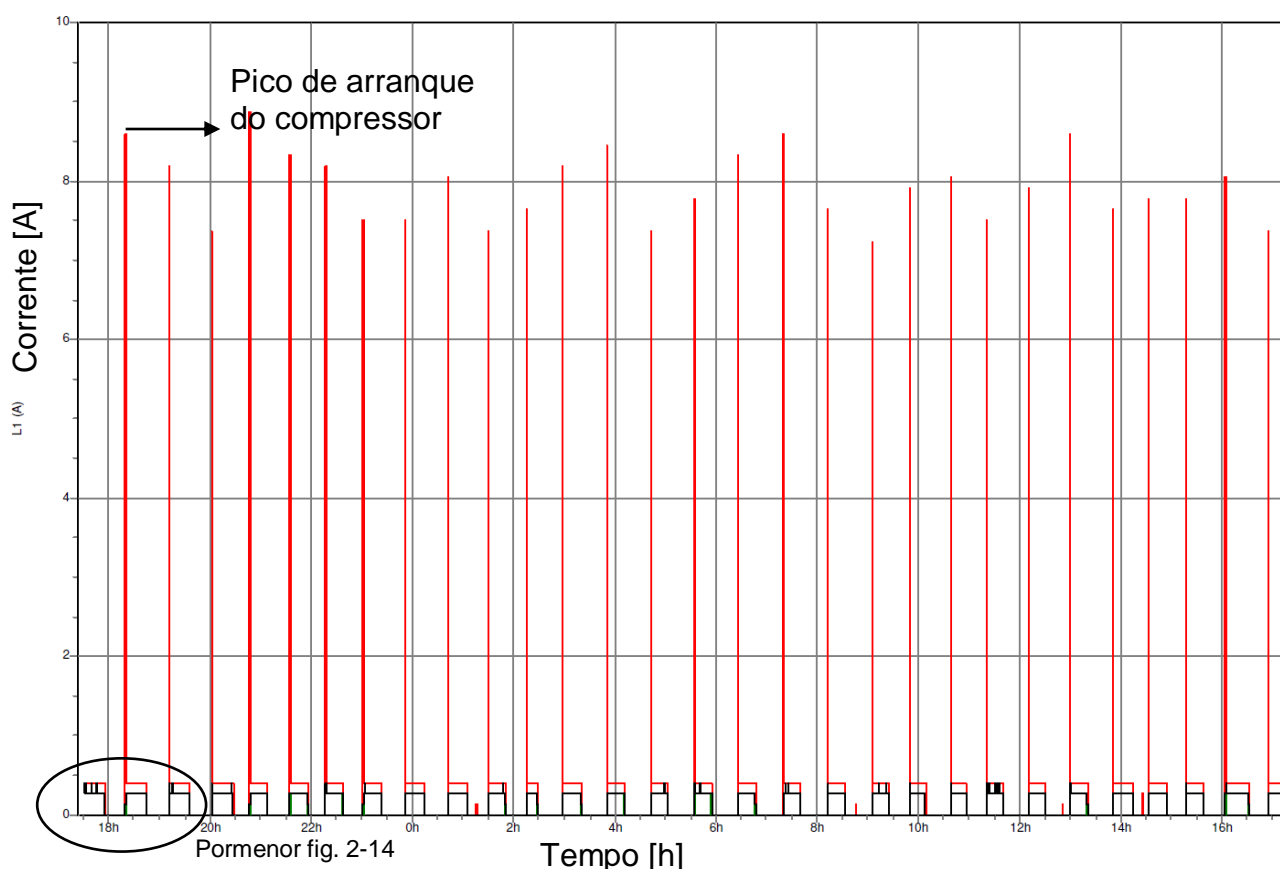


Figura 2-13 Gráfico exportado do analisador de rede Fluke

Durante o dia o frigorífico esteve sujeito ao uso normal, com variação da carga térmica ao longo do dia.

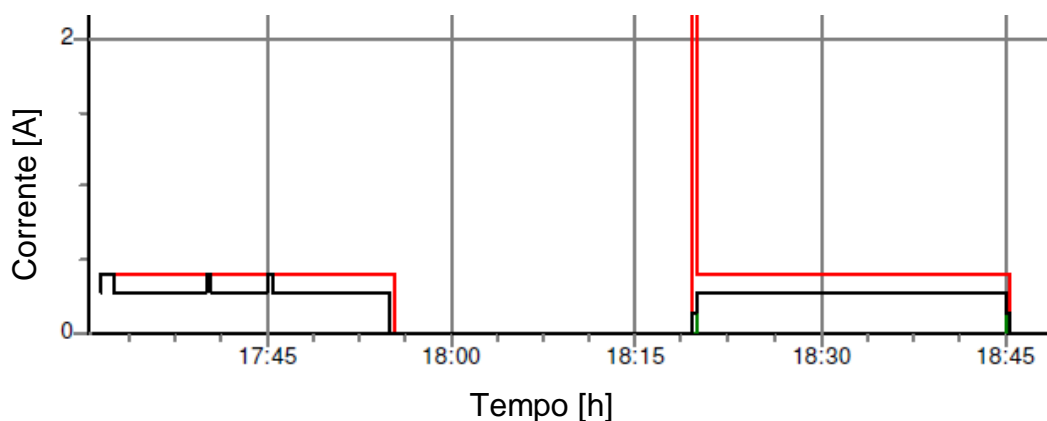


Figura 2-14 Pormenor do gráfico (analizador de rede Fluke)

Para melhor interpretação destes intervalos elaboramos a Tabela 2-3 construída a partir dos dados exportados pelo analisador de rede.

Na primeira coluna da tabela encontra-se a hora em que o motor do compressor entrou em funcionamento na segunda coluna o tempo que esteve ligado, na terceira a hora em que desligou e na última o tempo em que permaneceu desligado.

Tabela 2-3 Ciclo de funcionamento do compressor

Hora	Ligado (min)	Hora	Desligado (min)
17:31	24,5	17:55	24
18:19	26	18:45	25,5
19:11	25,5	19:36	26
20:02	25,5	20:28	19
20:47	21	21:08	26,5
21:34	22	21:56	20,5
2:20	20,5	22:37	24
23:01	23	23:24	27
23:51	23,5	0:15	27,5
0:42	23	1:05	24,5
1:30	20,5	1:50	25
2:15	13	2:28	29,5
2:58	23	3:21	30
3:51	20,5	4:11	31
4:42	20,5	5:03	31,5
5:34	20,5	5:55	31,5
6:26	21	6:47	31,5
7:19	21,5	7:40	32,5
8:13	20	8:33	32
9:05	20,5	9:25	23,5
9:49	20	10:09	30
10:39	18,5	10:57	23,5
11:21	20,5	11:41	28,5
12:10	20,5	12:30	29
12:59	21	13:20	29,5
13:50	25	14:15	17,5
14:32	22	14:54	22,5
15:17	22,5	15:39	24,5
16:04	28	16:32	23,5
Total (min)	633,5		771

No período de tempo compreendido entre as 17:31 e as 2:58, o motor liga e desliga em intervalos de tempo irregulares.

Durante este período o frigorífico esteve sobre a influência dos utilizadores, que originam a abertura e o fecho da porta para a introdução ou subtração de produtos. Neste período não existe estabilidade na carga frigorífica e em consequência os ciclos de trabalho são irregulares.

No intervalo de tempo subsequente, das 3:51 às 5:34, fora da influência dos utilizadores, o comportamento do frigorífico altera-se. Passa a ter uma regularidade nos períodos de ligado e desligado.

Neste intervalo de tempo o frigorífico encontra-se a funcionar num regime estacionário, ou seja, sem abertura e fecho da porta, nem alteração da carga frigorífica. O ciclo é de 20,5 [min] ligado e 31,5 [min] desligado. Podemos concluir que o motor do compressor só entra em funcionamento para a compensação do fluxo de energia calorífica entre o interior e o exterior e que originam um aquecimento da temperatura interior.

Efetuamos um levantamento dos produtos existentes no interior do frigorífico e calculamos a carga térmica inerente. Este cálculo está representado na Tabela 2-2.

Medimos também a temperatura no interior do frigorífico e obtivemos 9 [°C].

Estas observações são incorporadas no modelo de modo a podermos validar o modelo desenvolvido.

As medições efetuadas pelo analisador de rede indicaram que a potência do motor do compressor é de 94 [W]. Este valor representa 55,3% da potência indicada pelo fabricante. Para o cálculo do consumo energético o modelo tem como base este valor.

Para aferirmos a resistência global do frigorífico efetuamos uma medição de acordo com a planificação apresentada Figura 2-6. Calculamos a resistência térmica global apresentamos em síntese na Tabela 2-4.

Tabela 2-4 Cálculo da resistência global

Resistência Global								
Congelador	Dimensões [m]		Área [m ²]	Esp. [m]	K [kCal/h.m.°C]	QUANT .	R [°C /kCal]	1/R
Frigorífico	L	P						
Parede do fundo (A)	0,61	0,90	0,5490	0,08	0,0180	1	8,0865	0,1237
Parede de lado (D/E)	-	-	0,4795	0,04	0,0180	2	9,2586	0,1080
Parede de baixo (C)	0,61	0,29	0,1769	0,06	0,0180	1	18,8221	0,0531
Parede de fundo compressor (G)	0,61	0,22	0,1342	0,06	0,0180	1	24,8110	0,0403
Parede de cima compressor (F)	0,61	0,12	0,0732	0,06	0,0180	1	45,4868	0,0220
Borracha	-	-	0,0344	0,02	0,3500	1	1,6613	0,6019
Porta	0,61	1,11	0,6771	0,06	0,0180	1	4,9175	0,2034
TOTAL								0,8678

Num ciclo de refrigeração, temos como objetivo a transferência do calor do ambiente a ser refrigerado para o exterior. O ciclo de frio como anteriormente descrito pode ser comparado a uma máquina térmica que tem um determinado rendimento. O rendimento num ciclo de frio é designado por COP – Coeficiente de Performance, isto é, “Coefficient of Performance”. É definido como sendo a razão entre o calor retirado e o trabalho realizado pelo compressor [4].

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (2.6)$$

O COP depende:

- Da temperatura de evaporação ou seja a temperatura para o qual o gás refrigerante passa do estado líquido para gás. Este processo ocorre na serpentina do evaporador.
- Da temperatura de condensação ou seja a temperatura para o qual o gás refrigerante passa do estado gasoso para o estado líquido.
- Das propriedades do gás do refrigerante, na sucção do compressor.
- De, todos os componentes do sistema: compressor, condensador, etc.

2.4.1 Ensaios e validação

A partir dos dados obtidos pelo analisador de rede da FLUKE e características técnicas parametrizámos o modelo matemático de acordo com a Tabela 2-5.

Tabela 2-5 Parâmetros do frigorífico real

Parametrização do frigorífico real	
Temperatura do termostato (Set-point)	9 [°C]
Resistência global (Rt)	0,86 [°C/kcal]
Potência real do compressor (Comp)	94 [W]

O cálculo térmico tem como base a diferença de temperatura entre o interior e o exterior. A temperatura exterior não é homogênea em todas as faces do frigorífico. É superior na face posterior onde se situa o compressor e o condensador e inferior nas restantes faces.

Tabela 2-6 Cálculo da resistência global

Resistência Global								
Congelador	Dimensões [m]		Área [m ²]	Esp. [m]	K [kCal/h.m.°C]	QUANT.	R [°C /kCal]	1/R
Frigorífico	L	P						
Parede do fundo (A)	0,61	0,90	0,5490	0,08	0,0180	1	8,0865	0,1237
Parede de lado (D/E)	-	-	0,4795	0,04	0,0180	2	9,2586	0,1080
Parede de baixo (C)	0,61	0,29	0,1769	0,06	0,0180	1	18,8221	0,0531
Parede de fundo compressor (G)	0,61	0,22	0,1342	0,06	0,0180	1	24,8110	0,0403
Parede de cima compressor (F)	0,61	0,12	0,0732	0,06	0,0180	1	45,4868	0,0220
Borracha	-	-	0,0344	0,02	0,3500	1	1,6613	0,6019
Porta	0,61	1,11	0,6771	0,06	0,0180	1	4,9175	0,2034
TOTAL								0,8678

Na Tabela 2-6 apresentamos em detalhe as temperaturas obtidas através de medição no modelo real do frigorífico. Devido a esta diferença de temperatura exterior entre as diversas faces o cálculo de fluxo de energia calorífica deveria ser efetuado separadamente para cada uma delas e depois somadas.

Efetuamos o cálculo do frigorífico tendo em conta as diferentes temperaturas exteriores das faces do frigorífico e determinamos um fluxo total de 34,4935 kCal/h, conforme Tabela 2-7, e uma resistência térmica total de 0,8677 °C/kCal conforme Tabela 2-7. Calculamos esta resistência segundo as regras da associação em

paralelo das resistências.

A partir do total do calor transferido e da resistência térmica podemos através da equação (2.5) calcular a diferença de temperatura entre o interior e o exterior.

$$\Delta T = Q * Rt = 34,4935 * 0,8677 \approx 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (2.7)$$

Podemos então concluir que a temperatura média exterior a aplicar ao modelo matemático é:

$$T_{\text{Exterior}} = \Delta T + T_{\text{Interior}} = 30 + 9 = 39^{\circ}\text{C} \quad (2.8)$$

Tabela 2-7 Cálculo térmico do frigorífico real

Cálculo Térmico												
	Dimensões [m]		Área [m ²]	Esp. [m]	K [kCal/h.m.°C]	Temp. ext.[°C]	Temp. int.[°C]	Δt [°C]	QUANT [un]	R [°C /kCal]	Q [kCal/h]	1/R
Frigorífico	L	P										
Parede do fundo (A)	0,61	0,90	0,5490	0,08	0,0180	48	9	39	1	8,0865	4,8228	0,1237
Parede de lado (D/E)	-	-	0,4795	0,04	0,0180	33	9	24	2	9,2586	10,3687	0,1080
Parede de baixo (C)	0,61	0,29	0,1769	0,06	0,0180	28	9	19	1	18,8221	1,0095	0,0531
Parede de fundo compressor (G)	0,61	0,22	0,1342	0,06	0,0180	57	9	48	1	24,8110	1,9346	0,0403
Parede de cima compressor (F)	0,61	0,12	0,0732	0,06	0,0180	57	9	48	1	45,4868	1,0553	0,0220
Borracha			0,0344	0,02	0,3500	28	9	19	1	1,6613	11,4367	0,6019
Porta	0,61	1,11	0,6771	0,06	0,0180	28	9	19	1	4,9148	3,8659	0,2035
TOTAL (Soma total dos fluxos de energia térmica e resistência térmica total)											34,4935	0,8677
Diferença de temperatura entre o exterior e o interior												29,9296

Na Tabela 2-7 evidenciamos o cálculo térmico do fluxo de energia calorífica para cada uma das faces do frigorífico e também o cálculo da resistência térmica (Rt) para cada parede.

Não é possível determinarmos o COP do frigorífico. Não nos é facultada pelo fabricante e não tínhamos possibilidades técnicas para efetuar os ensaio para o determinar. Determinamos um valor a partir de algumas simulações onde alteramos sucessivamente o valor de COP. O valor que com o melhor comportamento que obtivemos é de 1,61.

Destas simulações exportamos dois gráficos que permitem-nos a visualização da evolução da temperatura no interior do frigorífico e do estado de funcionamento do motor do compressor. Estes gráficos permitem-nos a comparação com os obtidos através do analisador de rede da FLUKE.

Pela comparação entre os gráficos que apresentamos na Figura 2-15 e Figura 2-16

podemos observar que o ciclo de trabalho do compressor do modelo matemático tem um período de repouso de 29,55 [min] e funcionamento de 20,66 [min]. Para o modelo real o ciclo de trabalho é de 31[min] em repouso e 20,5 [min] em funcionamento, apresentando valores muito próximos.

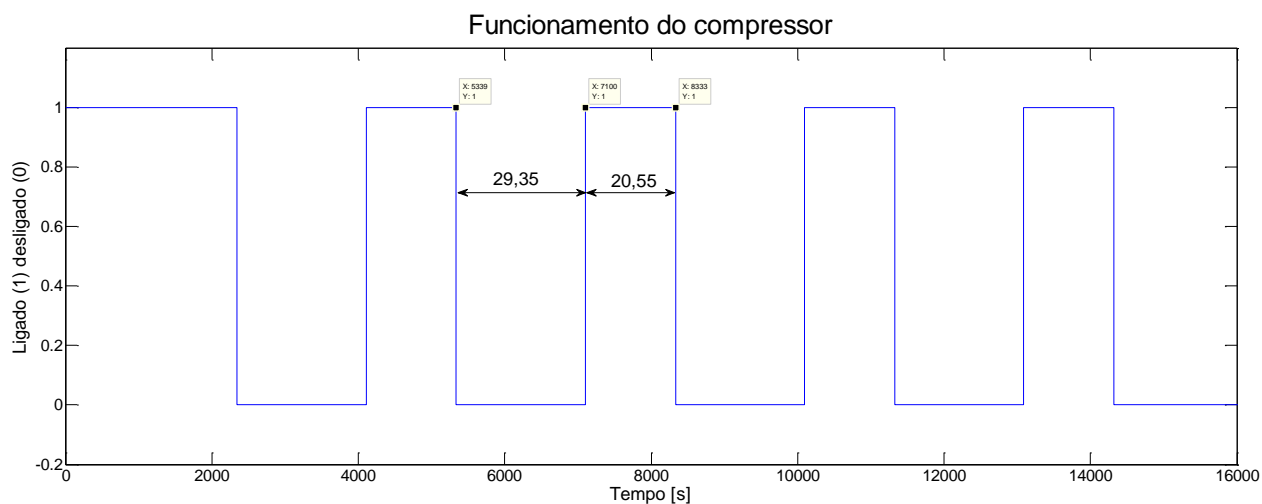


Figura 2-15 Ciclo de funcionamento do compressor modelo matemático

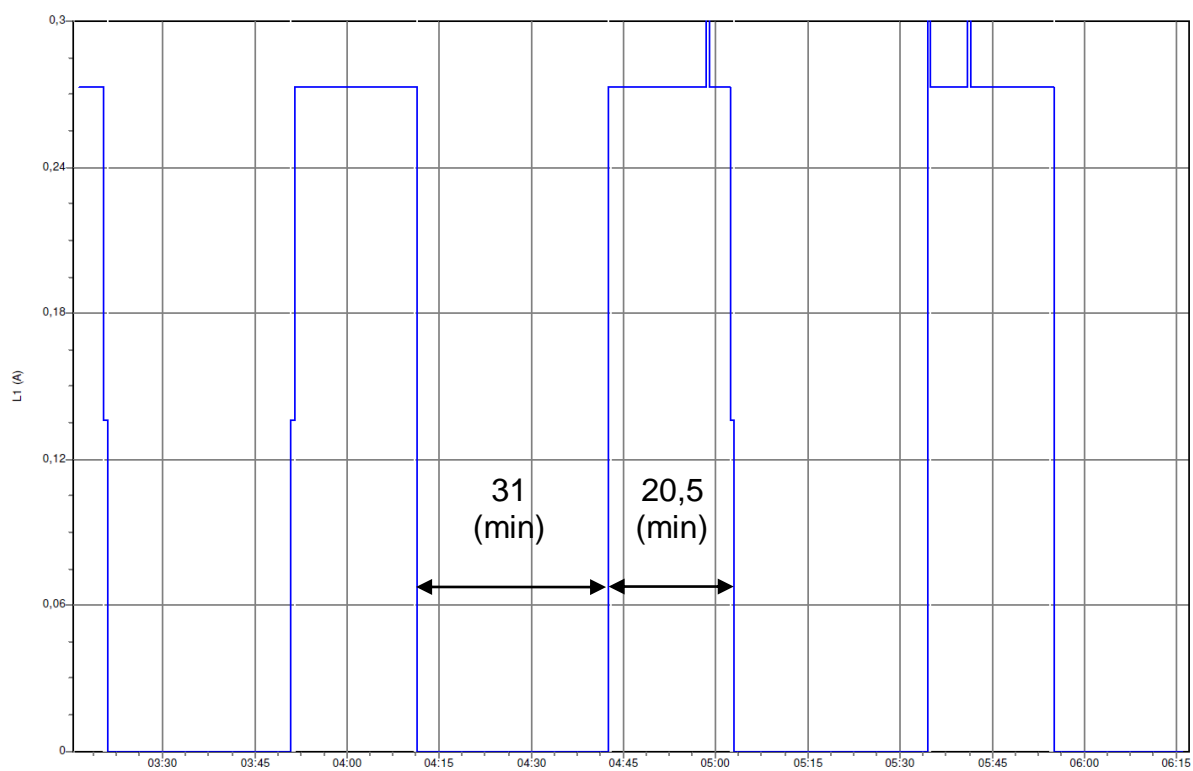


Figura 2-16 Gráfico de funcionamento do compressor modelo real (analisador de rede FLUKE)

Na Figura 2-17 apresentamos a evolução da temperatura no interior do frigorífico. A temperatura de comando (set-point) é de $SP=9\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ a histerese do termostato é estabelecido em $\Delta= \pm 1\text{ [}^{\circ}\text{C]}$. Então a temperatura no interior do frigorífico será de $9^{\circ}\text{C} \pm \Delta$ ou seja a temperatura varia entre $8\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ e $10\text{ [}^{\circ}\text{C]}$.

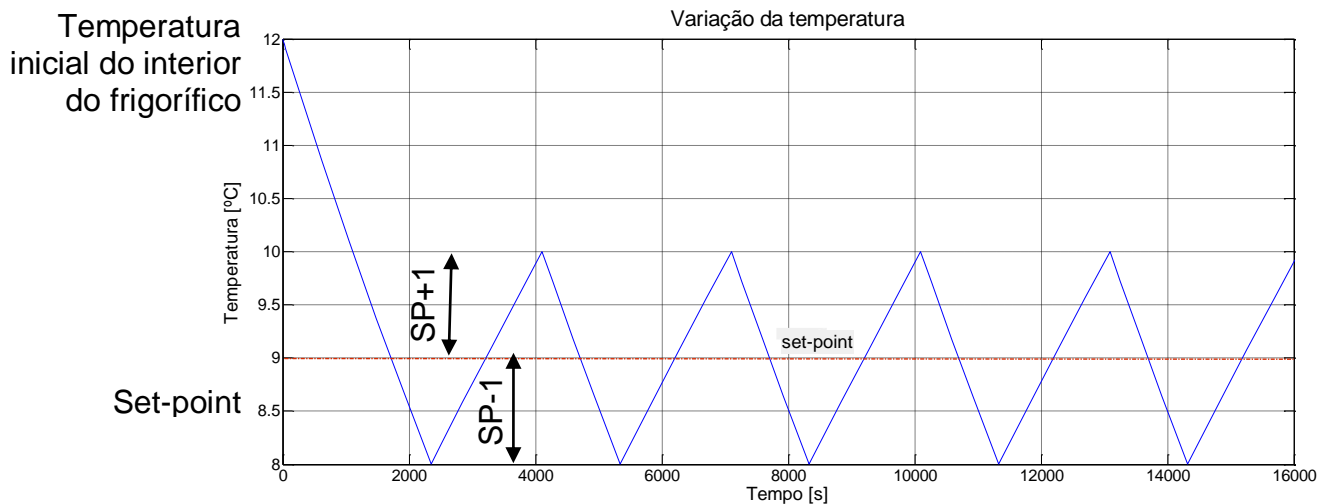


Figura 2-17 Evolução da temperatura no Interior do frigorífico

No gráfico da Figura 2-17 a curva apresentada é linear. Embora a evolução da temperatura em função do tempo seja uma função não linear do tipo logarítmica dentro da janela de histerese podemos aproxima-la a uma função linear.

O gráfico apresenta uma temperatura interior inicial de 12°C que é decrescente, devido a ação do sistema de frio, quando atinge a temperatura inferior da janela de histerese ($SP-1$) o controlador dá ordem de desligar o sistema de frio, parando o motor do compressor, etapa ativa. Devido á passagem de energia térmica do exterior para o interior a temperatura sobe até atingir o limite superior da janela de histerese ($SP+1$), forçando a entrada em funcionamento do sistema de frio, por ordem do controlador.

Pela análise dos gráficos exportados verificamos uma grande semelhança entre os dois modelos.

Não foi possível recolher informação sobre a evolução da temperatura no interior do modelo real de modo a podermos validar os valores da janela de histerese do controlador térmico.

Determinamos o valor para a janela de histerese através da consulta de diversas publicações sobre o tema.

Na Tabela 2-8 apresentamos os parâmetros obtidos através das diversas simulações efetuadas com o modelo desenvolvido.

Tabela 2-8 Parâmetros do modelo matemático

Parametrização do modelo matemático	
Temperatura exterior (Te)	39°C
Temperatura do termostato (Setpoint)	9°C
Resistência global (Rt)	0,86 °C/kcal
Carga térmica do frigorífico (CTF)	8,54kCal.°C
Potência real do compressor (Comp)	94W
COP	1,61

2.5 Conclusão

Não esteve no âmbito deste estudo o desenvolvimento de um modelo matemático que reproduzisse todas as características de um modelo real, incorporando todos os conceitos da termodinâmica. Este modelo reteve na sua essência o princípio fundamental do funcionamento do frigorífico. Depende dos parâmetros físicos do frigorífico tais como resistência térmica das paredes, diferença de temperatura entre o exterior e o interior e o circuito de frio.

Concluimos no entanto que o presente modelo apesar das simplificações introduzidas tem uma resposta em termos do seu funcionamento muito idêntica a um frigorífico real, tal como ficou provado pela comparação dos gráficos.

Capítulo-3. Classificação energética de aparelho controlado por temperatura

Estudo sobre a influência dos parâmetros característicos do modelo no desempenho da eficiência energética e proposta de alteração “*labelling*”.

3.1 Caraterização

A classificação energética preconizada pela União Europeia é baseada num valor standard de consumo anual para cada tipo de frigorífico. Este valor é majorado por coeficientes que dependem das características intrínsecas do aparelho em análise nomeadamente: o tipo de aparelho (frigorífico com ou sem congelador, arca frigorífica, numero de estrelas), o volume dos respetivos compartimentos (congelador e frigorífico), classe climática (próprio para regiões tropicais ou subtropicais), tipo de instalação (encastráveis ou não), se possui a tecnologia sem gelo. O número de estrelas está associado à temperatura do congelador, compreendida de uma a 4 estrelas quanto mais estrelas possui menor é a temperatura do congelador ((*) > -6°C, (**) ≤ -6°C, (***) ≤ -12°C, (****) ≤ -18°C).

Estas características estão perfeitamente estabelecidas nas tabelas da diretiva nº 94/2/EC de 21 de Janeiro 1994 da União Europeia. Posteriormente alterada pela diretiva 2003/66/EC de 3 Julho de 2003, que inclui classificações superiores a A nomeadamente A+ e A++ [8].

Para o cálculo do índice de eficiência energética (I_α) a diretiva apresenta a seguinte formula [8]:

$$I_\alpha = \frac{AC}{SC_\alpha} \times 100 \quad (3.1)$$

Em que:

AC = Consumo anual da energia do aparelho [kWh/ano]

SC α = Consumo anual standard do aparelho [kWh/ano]

$$SC_\alpha = M_\alpha \times \sum \left(V_c \times \frac{(25-T_c)}{20} \times FF \times CC \times BI \right) + N_\alpha + CH \quad (3.2)$$

Em que:

V_c = Volume em litros dos compartimentos

T_c = Temperatura do respetivo compartimento.

FF = 1

CC = 1

$$BI = 1$$

$$CH = 1$$

$$Ma = 0,78$$

$$Na = 303$$

Os valores considerados para Ma e Na são obtidos na Tabela 3-1

Os valores FF , CC , BI e CH são obtidos na Tabela 3-3

A partir do índice $I\alpha$ podemos classificar o aparelho nas nove classes previstas como indicamos na Tabela 3-2.

Tabela 3-1 Parâmetros Ma e Na [4]

Tipo de aparelho	Temperatura do compartimento mais frio	Ma	Na
1 Despensa frigorífica	$> -6\text{ °C}$	0,233	245
2 Frigorífico doméstico	$> -6\text{ °C}$	0,233	245
3 Frigorífico sem estrelas	$> -6\text{ °C}$	0,233	245
4 Frigorífico (*)	$\leq -6\text{ °C}^*$	0,643	191
5 Frigorífico (**)	$\leq -12\text{ °C}^{**}$	0,45	245
6 Frigorífico (***) /	$\leq -18\text{ °C}^{***}/^{*}(***)$	0,777	303
7 Frigorífico-congelador r^* (***)	$\leq -18\text{ °C}^{***}/^{*}(***)$	0,777	303

Tabela 3-2 Classes de eficiência energética [4]

Índice de eficiência energética ($I\alpha$)	Classe de eficiência energética
$30 < I\alpha$	A++
$30 \leq I\alpha < 42$	A+
$42 \leq I\alpha < 55$	A
$55 \leq I\alpha < 75$	B
$75 \leq I\alpha < 90$	C
$90 \leq I\alpha < 100$	D
$100 \leq I\alpha < 110$	E
$110 \leq I\alpha < 125$	F
$125 \leq I\alpha$	G

Tabela 3-3 Parâmetros FF, CC, BI e CH [4]

Fator de correção	Valor	Condições
FF (frost-free – sem gelo)	1,2	Para compartimentos de frio ventilado destinados a armazenar alimentos congelados
	1	Outros
CC (classe climática)	1,2	Para aparelhos da classe T (tropical)
	1,1	Para aparelhos da classe ST (subtropical)
	1	Outros
BI (built-in - encastrados)	1,2	Para aparelhos encastrados de largura < 58 cm
	1	Outros
CH (compartimento de ultra- refrigeração)	50 kWh/ano	Com pelo menos 15 litros de volume útil
	0	Outros

Para um frigorífico com as características do modelo real que apresentamos no capítulo 2 efetuamos os cálculos preconizados na diretiva da EU e apresentamos na Tabela 3-4 o valor $SC\alpha$ que representa o consumo energético de referência espectável para um frigorífico com as características apresentadas. Para o presente modelo o valor de referência é $SC\alpha = 830.55$ [kWh/ano].

Tabela 3-4 Classificação energética do modelo real

Classificação energética do modelo real										
	Temp.	Vol.	FF	CC	BI	$M\alpha$	$N\alpha$	$SC\alpha$	AC	EEC
Congelador	-18°C	132L	1	1	1	0,78	303	830,55	407	A
Frigorífico	5°C	282L								

A classificação da eficiência energética é atribuída de acordo com um valor percentual sobre o valor de referência. O frigorífico real tem um consumo anual de 407 [kWh/ano], o que representa:

$$I\alpha = \frac{407}{830,55} \times 100 = 49 \quad (3.1)$$

Este valor está entre 42 e 55 o que corresponde de acordo com a

Tabela 3-2 à classificação “A”.

Este método de classificação não entra em conta alguns fatores nomeadamente eficiência energética do circuito de frio, o desenvolvimento dos materiais de que é composto o frigorífico em particular o isolamento. Estes dois fatores são determinantes para o consumo energético do frigorífico. Na atual classificação podemos ter no mesmo escalão um frigorífico com um bom isolamento e um mau

rendimento do sistema de frio e vice-versa. Esta classificação deveria salientar estas duas vertentes incentivando o seu desenvolvimento. Com o desenvolvimento em simultâneo destes dois parâmetros permitiria uma eficiência energética maior, porque:

1. O circuito de frio é preponderante na etapa ativa do frigorífico. Um circuito de frio com um rendimento elevado permite ciclos de trabalho do motor do compressor mais curtos bem como motores de potência mais baixa resultando em consumos energéticos menores.
2. Um bom isolamento permite períodos mais longos na etapa passiva. Uma elevada resistência térmica das paredes origina menores transferências de energia do exterior conservando por um período maior de tempo a temperatura dentro dos limites selecionados.

O fator de utilização também não é levado em conta. A má manutenção de um frigorífico como por exemplo a deterioração das borrachas das portas originam um abaixamento da resistência térmica global do frigorífico elevando o consumo energético que pode inclusive baixar a sua classificação. A utilização, de materiais de qualidade inferior bem como lay-out dos diversos equipamentos podem potenciar as anomalias no sistema de frio, como exemplo as grelhas dos condensadores localizados normalmente na parte de trás do frigorífico, com um desenho que originem uma maior acumulação de sujidade ou espaçamentos curtos impedem a permuta de energia com o exterior originam ao longo do tempo uma diminuição do seu rendimento.

De modo a correlacionar os parâmetros de entrada do modelo com os parâmetros necessários a classificação energética dos aparelhos frigoríficos elaboramos uma série de simulações.

Nestas simulações alteramos cada um dos parâmetros de entrada do modelo resistência térmica (R_t), carga térmica do frigorífico (CTF) e coeficiente de performance do circuito de frio (COP). O termo de comparação é o consumo de energia anual. A variação da R_t permite aferir a contribuição que o isolamento tem no consumo energético. A variação da CTF permite aferir a influência que a quantidade de produtos existente no interior do frigorífico tem no consumo energético. Embora o isolamento seja um parâmetro de fabrico está, juntamente com CTF intimamente ligado a utilização do consumidor. A degradação do isolamento está ligado á manutenção bem como aceder várias vezes ao frigorífico ou frigoríficos muito cheios originam CTF mais elevadas.

3.2 Parâmetros que influenciam o consumo

Através do modelo matemático desenvolvido aferimos que existem três parâmetros que influenciam significativamente o consumo energético. O isolamento térmico (R_t), o rendimento do sistema de frio (COP) e a carga térmica no interior do frigorífico (CTF)

A resistência térmica (R_t) do frigorífico influencia o tempo de permanência na fase passiva. Ou seja representa o grau de permeabilidade da transferência de energia entre o exterior e o interior. Quando maior é a resistência menor é a transferência de calor. Mais tempo o frigorífico permanece na fase passiva ou seja ciclo de refrigeração desligado sem consumo energético.

Foram efetuadas várias simulações com o intuito de observar a influência da R_t no desempenho do aparelho.

No Gráfico 3-1 observamos a evolução da temperatura em função do tempo para valores de resistência térmica entre 0,1 e 1,2. Para este estudo consideramos a carga térmica do frigorífico $CTF=8,54$ [kcal°C].

A transferência de energia num sistema com fronteiras de resistência térmica (R_t) baixa, processa-se num tempo mais curto. A temperatura interior sobe mais rapidamente. À medida que aumentámos a resistência térmica do frigorífico a dinâmica do sistema diminui. A temperatura interior sobe mais lentamente.

Observamos no gráfico que para o mesmo período de tempo, 5000s, a temperatura evolui de 0 [°C] a 31,3 [°C] para $R_t=0,1$ [°C/kcal]. No mesmo período de tempo para $R_t=1,2$ [°C/kcal] a evolução da temperatura é de 0 [°C] a 4,9 [°C]. Ou seja quanto maior for o valor da resistência térmica menor é a taxa de transferência de energia entre o exterior e o interior do frigorífico.

No capítulo 2 apresentamos um cálculo da resistência térmica do modelo matemático. O valor que calculamos é de 0,86 [°C/Kcal]. Observamos no gráfico uma curva semelhante $R_t=0,9$, que apresenta uma evolução na temperatura de 0 [°C] a 6,4 [°C] para o mesmo intervalo de tempo.

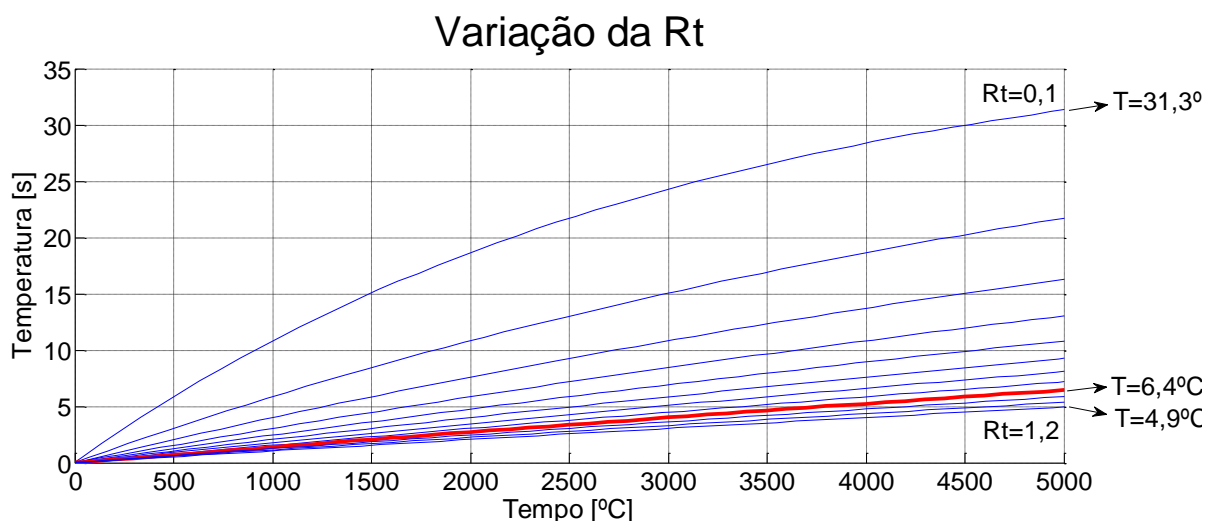


Gráfico 3-1 Curvas de temperatura para as diversas resistências térmicas (R_t)

A carga térmica CTF representa a energia térmica dos produtos que estão no interior do frigorífico. A Tabela 2-2, que apresentamos na página 12 ilustra um exemplo de cálculo simplificado da carga térmica contida num frigorífico. A carga térmica é constituída pelos alimentos que pretendemos arrefecer, bem como o volume de ar em seu redor.

A diferença de temperaturas entre o interior e exterior obriga a uma transferência de energia do exterior para o interior originando uma subida da temperatura dos alimentos e da massa de ar envolvente. Ao atingir a temperatura de “set-point” o termostato dá ordem de arranque ao compressor. Dando início ao ciclo de refrigeração, que transfere energia do interior para o exterior, arrefecendo os alimentos. Estamos perante o ciclo ativo, o motor do compressor entra em funcionamento dando início ao ciclo de refrigeração. Este é o período diretamente responsável pelo consumo energético.

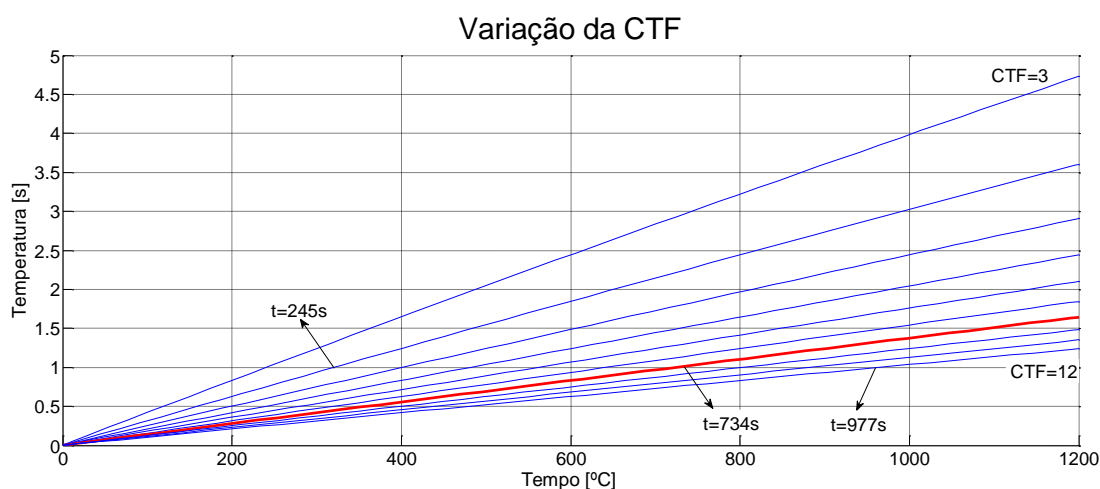


Gráfico 3-2 Curvas de temperatura para diferentes cargas térmicas do frigorífico (CTF)

No Gráfico 3-2 pode observar-se a evolução da temperatura em função do tempo,

para valores de CFT de 3 a 12 [kcal.°C]. Constatamos que o declive das curvas diminui com o aumento da CFT. Para a temperatura no interior do frigorífico variar 1 [°C] por exemplo, passar de 0 [°C] para 1 [°C] demora sensivelmente 245 [s] para uma curva de CFT de 3 [kcal/°C] e 977 [s] para uma curva de CFT de 12 [kcal/°C]. A energia para variar 1 [°C] de uma CFT = 3 [kcal/°C] é inferior a energia necessária para variar a mesma temperatura mas de uma CFT = 12 [kcal/°C]. A energia transferida entre o exterior e o interior é constante devido a R_t ser constante. Então uma CFT maior demora mais tempo a variar a temperatura. Em termos práticos um frigorífico “cheio” demora mais tempo a atingir a temperatura ambiente do que um frigorífico vazio.

A carga térmica apresentada na Tabela 2-2 é de $CTF = 8,54$ [kcal/°C] que correspondente aos produtos existentes no interior frigorífico real analisado anteriormente. Para a curva $CFT=9$ [kcal/°C] semelhante a indicada constatamos que a variação de 0 [°C] para 1 [°C] ocorre para um tempo de 734 [s].

O COP o último parâmetro que julgamos fundamental, e que indica o rendimento do ciclo de refrigeração, “*Coefficient of Performance*”. Corresponde à razão entre o calor retirado e o trabalho realizado. Permite relacionar a energia elétrica consumida com a energia térmica retirada ao interior do frigorífico. Quanto maior for este fator, maior é a quantidade de energia térmica que se pode transferir para o exterior com menor consumo de energia elétrica.

O COP está fortemente correlacionado com os restantes fatores. Para melhor entendermos essa correlação efetuamos simulações, variando cada um dos fatores.

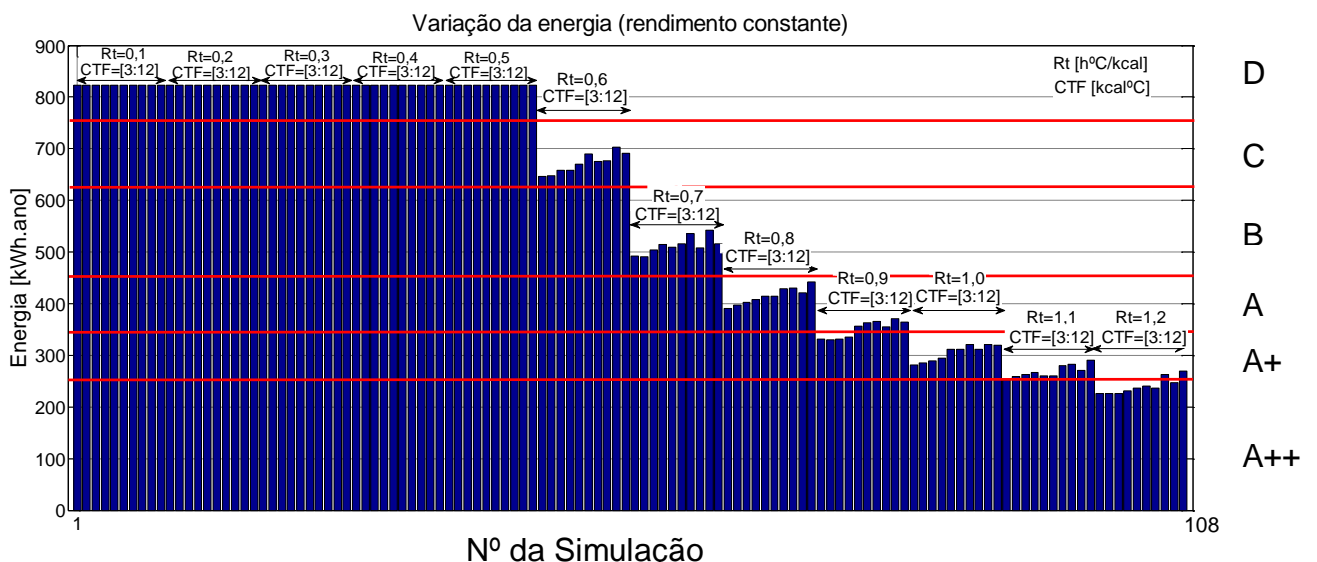


Gráfico 3-3 Variação do consumo energético anual com rendimento constante ($\eta=1,61$)

No Gráfico 3-3 apresentamos doze grupos de simulações correspondentes a variação da resistência térmica de 0,1 a 1,2 [°C/kcal]. Em cada grupo a variação da capacidade térmica do frigorífico é de 3 a 12 [kcal/°C]. O COP para estas simulações é constante e igual a 1,61. É este valor que utilizamos para validar o

modelo desenvolvido conforme Tabela 2-8. Como resultado de cada uma das simulações obtemos um consumo de energia anual de cada um dos modelos. Este resultado permitiu a comparação do desempenho de cada modelo e os parâmetros associados.

Como o modelo que desenvolvemos tem como base o frigorífico real e para este calculamos o consumo anual de referência que é $SC\alpha = 830.55$ [kWh/ano], patente na Tabela 3-4, efetuamos cálculos de consumo de energia que o classificaria nos diversos escalões de acordo com a

Tabela 3-2 e formula (3.1). Na Tabela 3-5 apresentamos os resultados.

Tabela 3-5 Cálculos da classificação energética do modelo

Tabela de classificação energética do modelo real		
Classificação	\geq [kWh/ano]	$<$ [kWh/ano]
A++		249,165
A+	249,165	348,831
A	348,831	456,8025
B	456,8025	622,9125
C	622,9125	747,495
D	747,495	830,55

Os cinco primeiros grupos com R_t inferior a $0,6$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] têm a classificação D ou superior.

Para R_t igual a $0,6$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] o consumo energético baixa com o aumento da resistência térmica. A diferença no consumo é mais evidente para as R_t $0,6$ a $0,9$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] e mais ténue a partir da R_t igual a $1,0$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$]. Ou seja a influência no consumo deixa de ser significativa para valores altos de R_t .

Torna-se evidente pela leitura do gráfico em particular se analisarmos cada grupo que um aumento da carga térmica não implica forçosamente um aumento do consumo. Para algumas cargas térmicas altas existe a possibilidade de consumos mais baixos. Este abaixamento deve-se á grande carga térmica existente no interior do frigorífico que origina a necessidade de maior energia para a variação da temperatura interior conforme explicamos anteriormente e patente no Gráfico 3-2. Como o tempo para a variação da temperatura no interior do frigorífico é maior o também é maior o tempo de repouso do compressor, levando a consumos mais baixos.

Tendo em conta a Tabela 3-5 os cinco primeiros grupos são classificados como D.

Para $R_t=0,6$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é C, para $R_t=0,7$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é B. Para $R_t=0,8$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é A. Para $R_t=0,9$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é A+ para CTF baixas e A para CTF altas. Para $R_t=1,0$ e $R_t=1,1$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é A+. Para $R_t=1,2$ [$^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$] a classificação é A++ mas para CTF=10 e 12 [$\text{Kcal}^{\circ}\text{C}$] a classificação baixa para A+.

A variação da carga térmica do frigorífico está intimamente associada aos fatores comportamentais do utilizador, nomeadamente a taxa de ocupação com produtos de elevada capacidade térmica ou a frequência de abertura da porta.

A resistência térmica está associada ao fator de utilização, tais como manutenção e deterioração da borracha da porta. A borracha da porta é uma ponte térmica com grande influência na resistência global como comprovamos anteriormente e indicado na Tabela 2-4.

Na figura abaixo apresentamos os gráficos da evolução do consumo energético anual para resistência Térmica constante igual a $0,86 \text{ Kcal/h.m.}^{\circ}\text{C}$. Agrupamos o consumo daí decorrente, para cada patamar de COP considerado procedemos a variação da carga térmica.

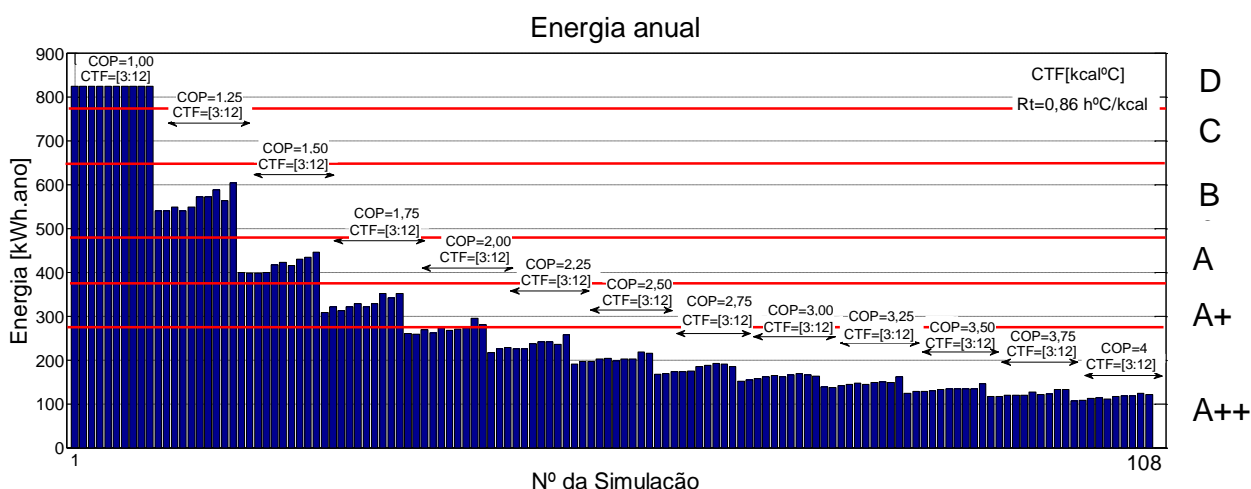


Gráfico 3-4 Variação do consumo energético anual com resistência térmica constante ($R_t=0,86$)

Verificamos que para este conjunto de ensaios um comportamento análogo ao anterior, no primeiro grupo o compressor não tem capacidade para arrefecer o interior do frigorífico.

Nos quatro seguintes grupos, $\text{COP}=1,25$ a $\text{COP}=2,00$ constatamos uma descida acentuada do consumo. A variação é menos acentuada a partir do rendimento 2,25.

Em termos de classificação o primeiro grupo é classificado como D, o segundo B o terceiro A e o quarto A+. Do quinto em diante são todos classificados como A++.

Mais uma vez notamos que o consumo é mais baixo para cargas térmicas mais

altas.

O rendimento mede a eficiência do sistema de frio. Este é um dos fatores mais preponderantes no consumo. Vemos que para um COP igual ou superior a 2,25 temos o modelo matemático classificado como A++.

Na figura abaixo apresentamos os gráficos em pormenor da evolução do consumo energético anual para carga Térmica constante igual a 8,54 kCal.°C. Registamos o consumo daí decorrente.

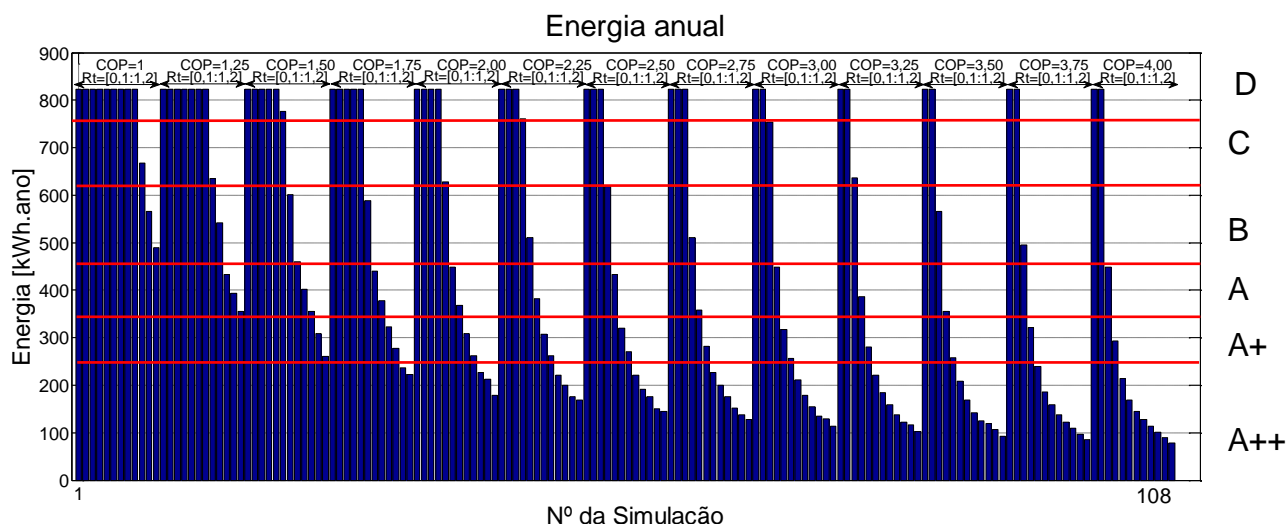


Gráfico 3-5 Variação do consumo energético anual com carga térmica constante (CTF=8,54)

A influência da resistência térmica fica patente neste conjunto de simulações, devido a enorme diferença do consumo para cada grupo de COP. A variação da resistência térmica representa a evolução dos materiais de isolamento bem como o fator de utilização, mais especificamente a conservação das borrachas da porta.

Constatamos que o declive é tão pronunciado que permite que um modelo possa ser classificado como D se tiver um péssimo fator de utilização ou A++ se tiver um bom fator de utilização.

Para o COP igual a 1 e R_t até 0,9 [°C/kcal] o compressor não tem capacidade de arrefecer o interior do frigorífico. Para $R_t=1,0$ [°C/kcal] o modelo classifica-se em C. Para $R_t=1,1$ e 1,2 [°C/kcal] classificação sobe para B.

Para COP igual a 1,25 e R_t até 0,7 [°C/kcal] o comportamento é idêntico ao anterior. Para $R_t=0,8$ [°C/kcal] a classificação sobe para C, para $R_t=0,9$ [°C/kcal] a classificação é B, para $R_t=1,0$ a $R_t=1,2$ [°C/kcal] a classificação é A.

Para COP superior a 1,25 a classificação pode variar entre D e A++, dependendo da resistência térmica. Para COP e R_t elevados a classificação é sempre A++.

3.3 Análise da classificação energética

Para aferirmos a influência que os parâmetros de entrada do modelo têm na classificação energética efetuamos um total de 1560 simulações.

Variamos o COP de 1 a 4, a resistência térmica (R_t) de 0,1 a 1,2 [°C/kcal] e a carga térmica do frigorífico (CTF) de 3 a 12 [kcal°C]. Os resultados das simulações encontram-se no anexo B, Tabela 0-1.

Elaboramos um conjunto de três gráficos que correspondem a três perfis de utilizadores:

- P1 - pequeno utilizador (PU) caracterizado por carga térmica frigorífica pequena CTF=3 [kcal°C]. Representa um frigorífico inserido num agregado constituído por um único indivíduo.
- P2 - médio utilizador (MU) caracterizado por carga térmica média CTF=7 [kcal°C]. Representa um frigorífico inserido num agregado de três, quatro pessoas.
- P3 - grande utilizador (GU) caracterizado por uma carga térmica grande CTF=12 [kcal°C]. Representa um frigorífico inserido num agregado de 5 ou mais indivíduos.

Juntamente com o gráfico 3D são ilustradas curvas de nível de consumo de energia anual e classificação de acordo com a Tabela 3-4.

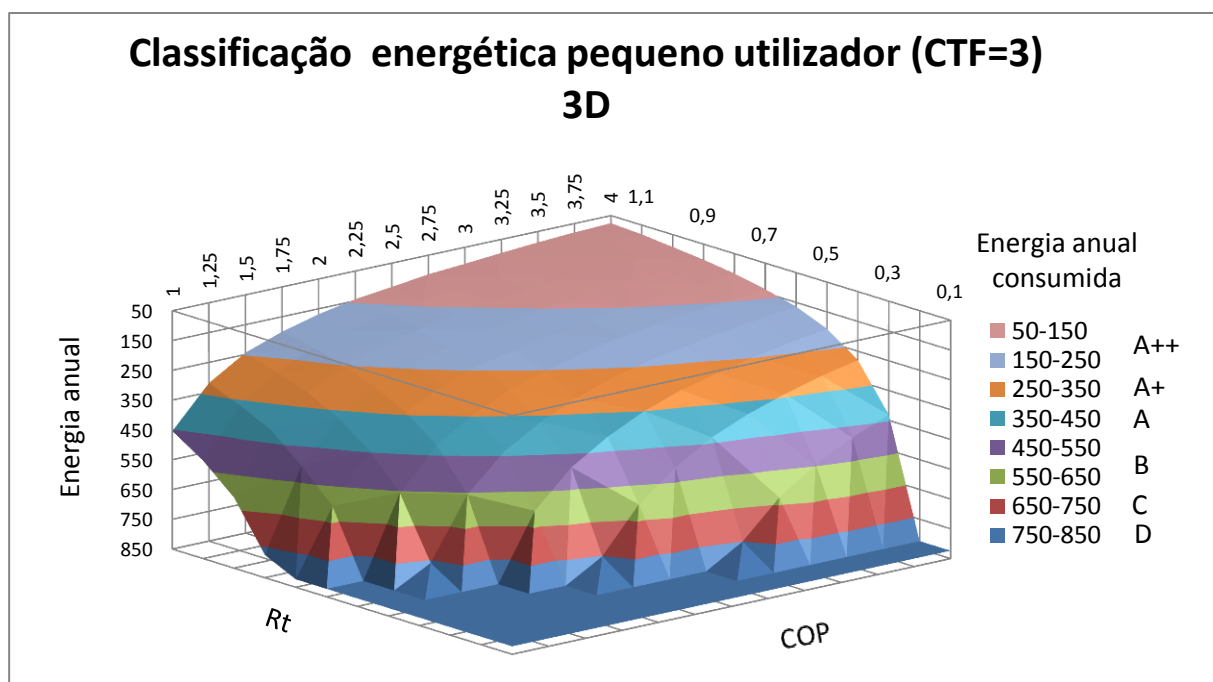


Gráfico 3-6 Classificação energética do pequeno utilizador (CTF=3) 3D

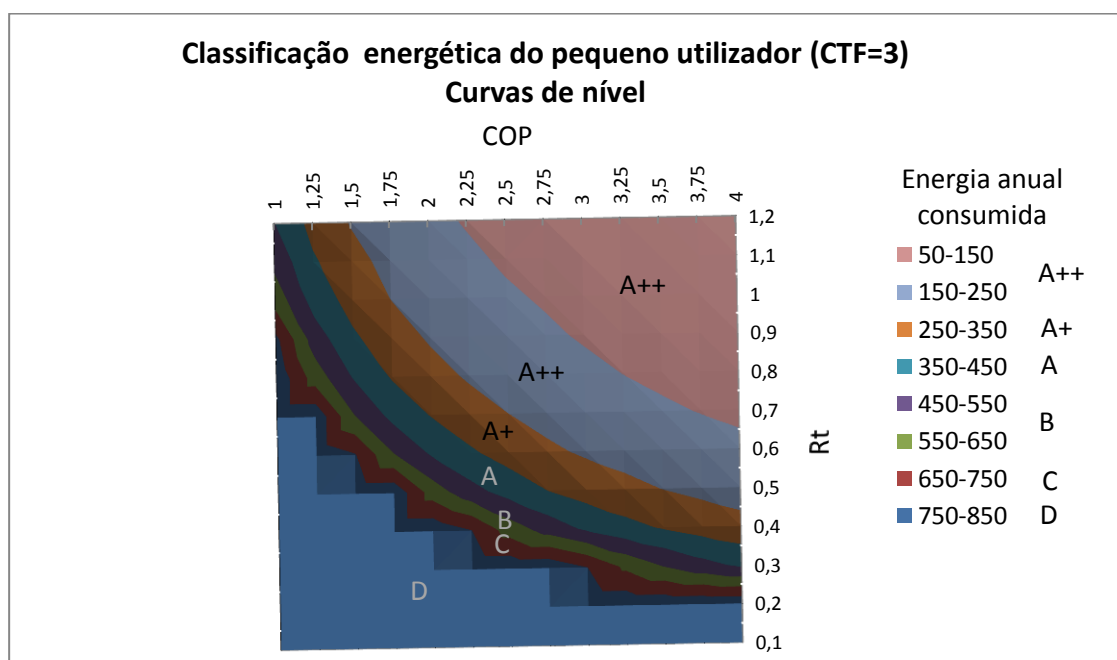


Gráfico 3-7 Classificação energética do pequeno utilizador (CTF=3 - curvas de nível)

A partir da leitura dos dois gráficos apresentados, para um perfil de pequeno utilizador constatamos curvas de níveis centradas no ponto $COP=4$ e $R_t=1,2$ [°C/kcal] que são os valores mais altos dos respetivos parâmetros.

A classificação A++ exibiu uma área grande o que implica um intervalo grande de combinações de parâmetros de COP e R_t , ou seja para obter a classificação A++ o modelo pode ter uma resistência térmica compreendida no intervalo [0,45 - 1,2] se tiver um COP entre [4 - 1,5]. Observamos também que as classificações abaixo da classificação A++ apresentam faixas de áreas cada vez mais estreitas.

Para um utilizador médio Gráfico 3-8 e Gráfico 3-9 apresenta valores semelhantes. Existe no entanto um alteração no intervalo de COP que permite a classificação A++, passa a [4, - 1,16]. O intervalo da R_t permanece igual, ou seja para se obter a mesma classificação para cargas térmicas mais elevadas era necessário melhorar o COP.

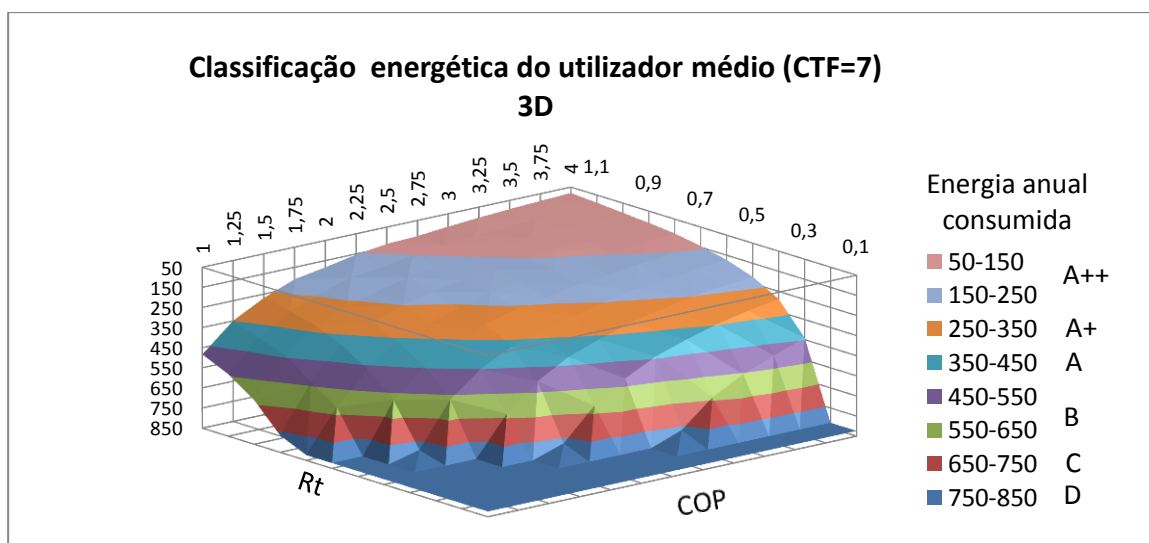


Gráfico 3-8 Classificação energética do utilizador médio (CTF=7) 3D

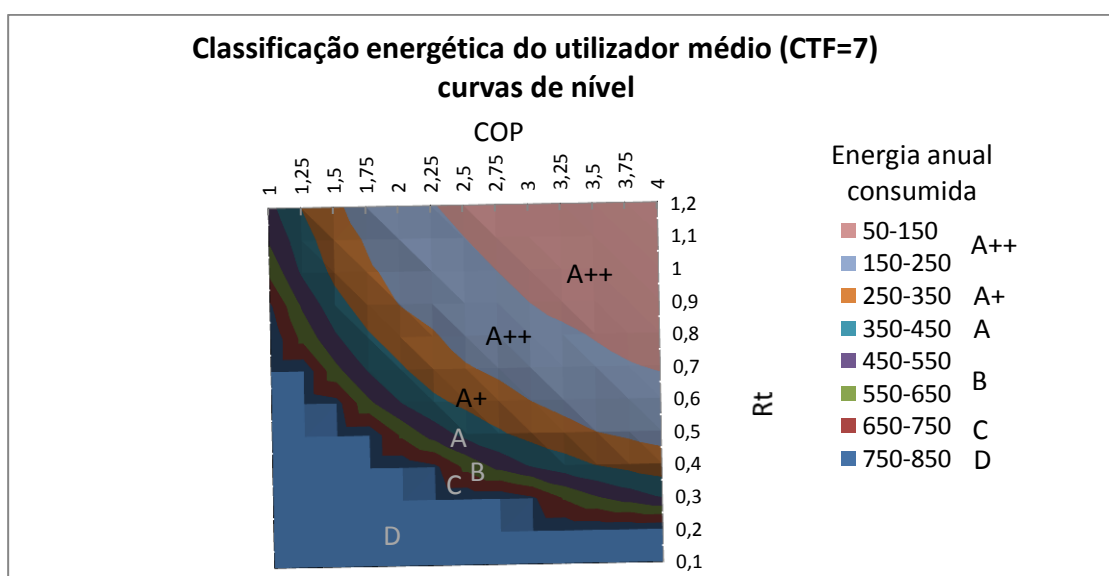


Gráfico 3-9 Classificação energética do utilizador médio (CTF=7 - curvas de nível)

Para um grande utilizador o Gráfico 3-10 e Gráfico 3-11 apresentam valores semelhantes, existe no entanto uma pequena diferença na repartição das áreas das curvas de níveis. A classificação mais elevada A++ passa a ocorrer para intervalo de COP = [4 – 1,7] e R_t = [0,45 – 1,2], o que indica que para cargas térmicas mais elevadas a classificação mais elevada ocorre para resistência térmica mais elevada e um COP correspondente mais elevado.

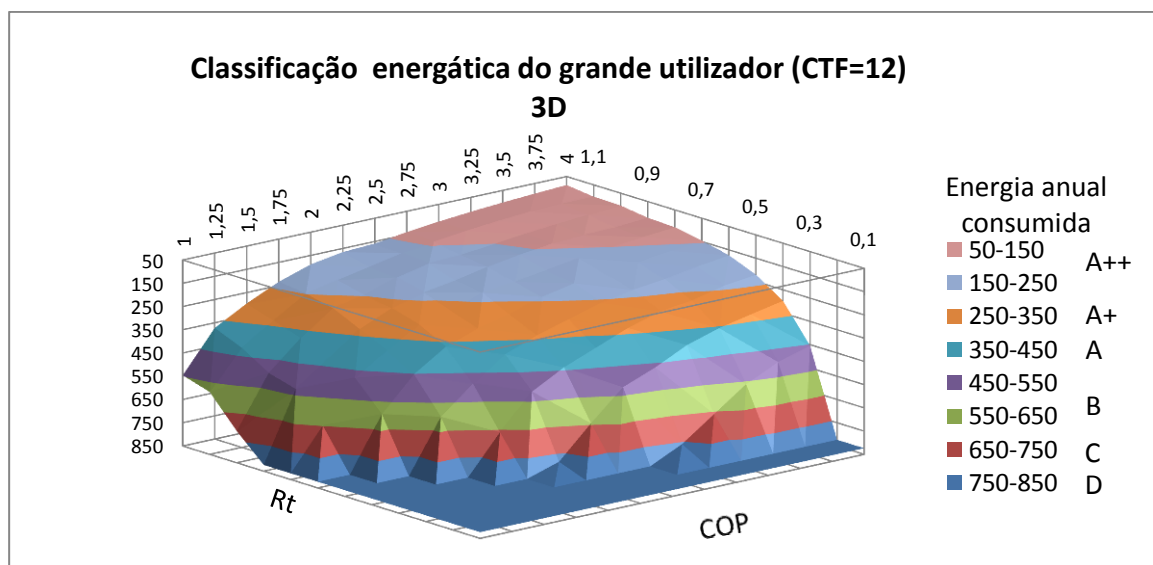


Gráfico 3-10 Classificação energética do grande utilizador (CTF=12) 3D

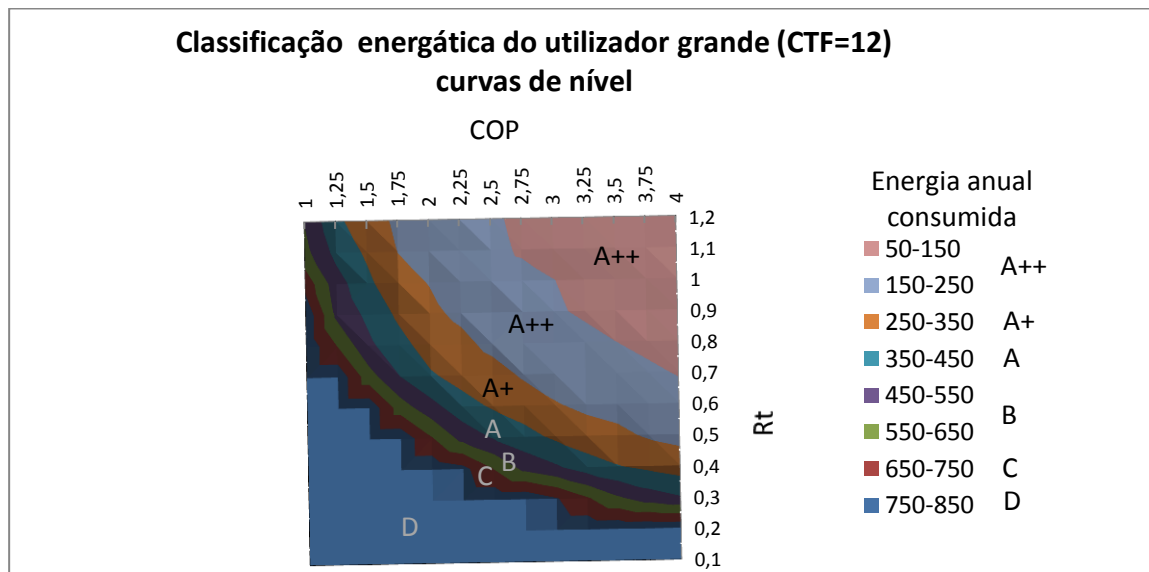


Gráfico 3-11 Classificação energética do grande utilizador (CTF=12 - curvas de nível)

A leitura destes três conjuntos de gráficos evidencia um padrão comum: para classificações abaixo do, intervalo 250-350 sensivelmente idêntica a A+, pequenas variações na resistência térmica ou no COP originaram variações nas classificações energéticas, o que nos leva a concluir que existe uma forte correlação dos parâmetros de entrada com a classificação energética.

3.4 Análise custo-benefício

Podemos analisar a classificação energética pela perspectiva custo-benefício.

Para podermos analisar sob este ponto de vista tivemos que definir o que representa benefícios e custos.

Esta análise importa em grande parte ou consumidor/utilizador. Neste sentido temos necessidade de definir os benefícios e custos na óptica do consumidor/utilizador.

Para melhor visualização da variação dos custos de energia originados pela variação dos parâmetros de entrada formatámos os dados num gráfico de superfície. Os pontos que constituem a superfície assumem os valores de custo de energia. Nos eixos X e Y encontra-se os valores de COP e Rt.

Os parâmetros de entrada do modelo matemático, resistência térmica (Rt) e COP respetivamente estão intimamente relacionados com o desenvolvimento e construção do frigorífico. Dependem do fabricante e influenciam o custo final. Materiais isolantes, com resistência térmica mais elevada, são mais dispendiosos. Sistemas de frio com rendimentos mais elevados necessitam de meios tecnológicos mais evoluídos, bem com métodos de fabrico rigorosos, honorando o produto final. Estes dois fatores contribuem nitidamente para um custo de aquisição mais elevado na perspectiva do consumidor.

A carga térmica do frigorífico (CTF) representa a quantidade de produto que o utilizador pode colocar no frigorífico para arrefecer. Quanto mais volume de armazenamento o frigorífico tem, mais produtos se pode colocar, tornando-se num benefício para o utilizador.

Existe no entanto um benefício sentido diretamente pelo consumidor, que é o consumo energético. Podemos traduzir este benefício em termos de valor monetário se multiplicarmos pelo custo financeiro. Para o cálculo do custo de energia assumimos uma tarifa de 14 [Cent./kWh]. Então o custo de energia $CE = \text{Energia} \times \text{Tarifa}$

A relação Benefício-Custo pode ser calculada utilizando a seguinte expressão:

$$\delta = \frac{\text{Benefício}}{\text{Custos}} \quad (3.2)$$

Para o valor de benefício igual ao custo temos $\delta=1$. Representa um valor em que não existe nem benefício nem custo para o utilizador é um valor neutro ou de referência. Valores superiores á unidade indicaram benefícios para o utilizador e valores inferiores indicaram custos mais elevados. O benefício considerado para

este estudo é: menor custo de energia por ano e maior CTF, que se traduziu em maior volume de armazenamento. O valor de $\delta=1$ deveria ser obtido para o máximo de consumo energético que permite enquadrar o frigorífico na classificação mais alta, A++. Este é portanto o limite máximo de benefício que a classificação em vigor permite obter. Como mencionamos anteriormente esta classificação baseia-se exclusivamente num único fator, o consumo energético. Através da relação benefício custo pretendeu-se incluir alguns aspetos que em última análise iriam incentivar o desenvolvimento de tecnologias mais ecológicas. Da tabela resultante das simulações efetuadas e apresentadas no anexo B, o valor que satisfaz esta condição de valor de referência é de 248,8783 [kWh]. Este valor é alcançado na simulação com o modelo matemático para os parâmetros de entrada $Rt=1,1$ [°C/kcal], $COP=1,75$ e $CTF=12$ [kcal°C]. Iremos utilizar estes valores como referência, com exceção do valor de CTF, porque coincidiu com o valor máximo. Se considerássemos o valor máximo de CTF como valor de referência não haveria benefício por considerar mais volume de armazenamento do frigorífico. Por isso consideramos um valor de referência mais baixo, de $CTF=7$ [kcal°C] correspondente ao médio utilizador.

Então a expressão final para calcularmos a relação custo-benefício (δ) é a seguinte:

$$\delta = \frac{\left(\frac{CE-CE_{Ref}}{CE_{Ref}}+1\right)+\left(\frac{CTF-CTF_{Ref}}{CTF_{Ref}}+1\right)}{\left(\frac{COP-COP_{Ref}}{COP_{Ref}}+1\right)+\left(\frac{Rt-Rt_{Ref}}{Rt_{Ref}}+1\right)} \quad (3.3)$$

A partir desta equação efetuamos os cálculos que apresentamos no anexo B.

Analisámos estes dados à semelhança do ponto anterior. Existem três perfis de utilizadores idênticos anteriores, pequeno, médio e grande utilizador.

Pela análise dos Gráfico 3-12 e Gráfico 3-13 de pequeno utilizador constatamos que não existe benefício do consumidor para nenhum dos parâmetros avaliados ($\delta < 1$). Existe uma perda de entre 20 a 30% de benefício em relação ao valor de referência. Ressaltamos no entanto que o centro da curva de nível não é coincidente com os valores mais altos dos parâmetros de entrada COP e Rt, conforme constatamos nos gráficos anteriores de classificação de energia. O máximo das curvas de níveis apresenta parâmetros de $Rt=1,1$ [°C/kcal] e $COP=2,5$. Para valores de relação custo-benefício baixos, inferiores a 0,6 as áreas das curvas são pequenas. Estas áreas estão em sintonia com as analisadas nos gráficos de classificação energética.

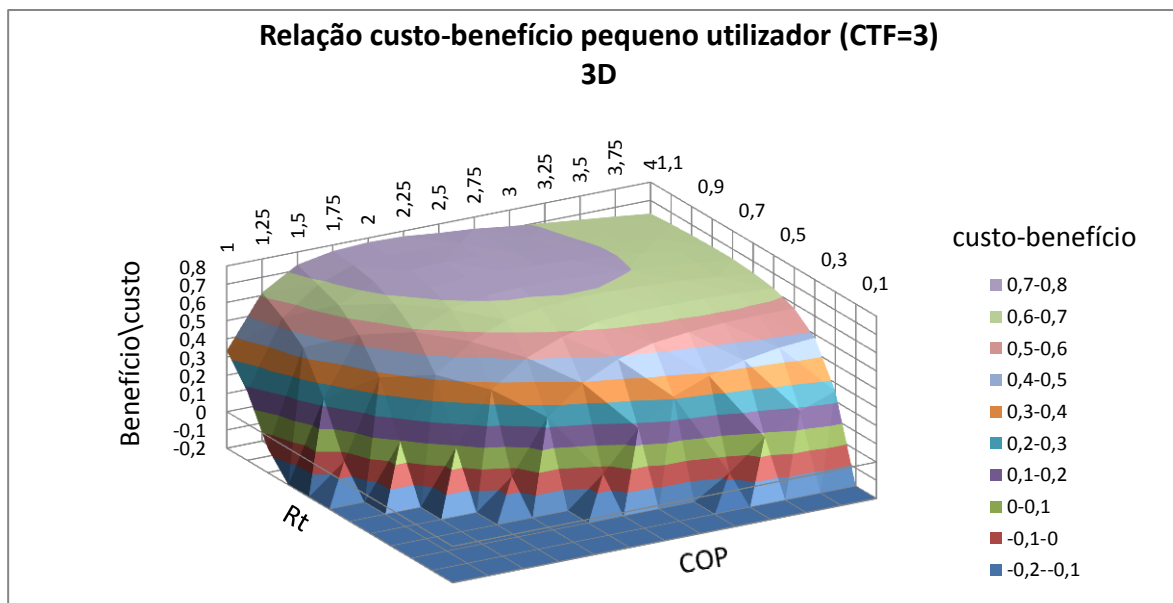


Gráfico 3-12 Relação custo-benefício pequeno utilizador (CTF=3) 3D

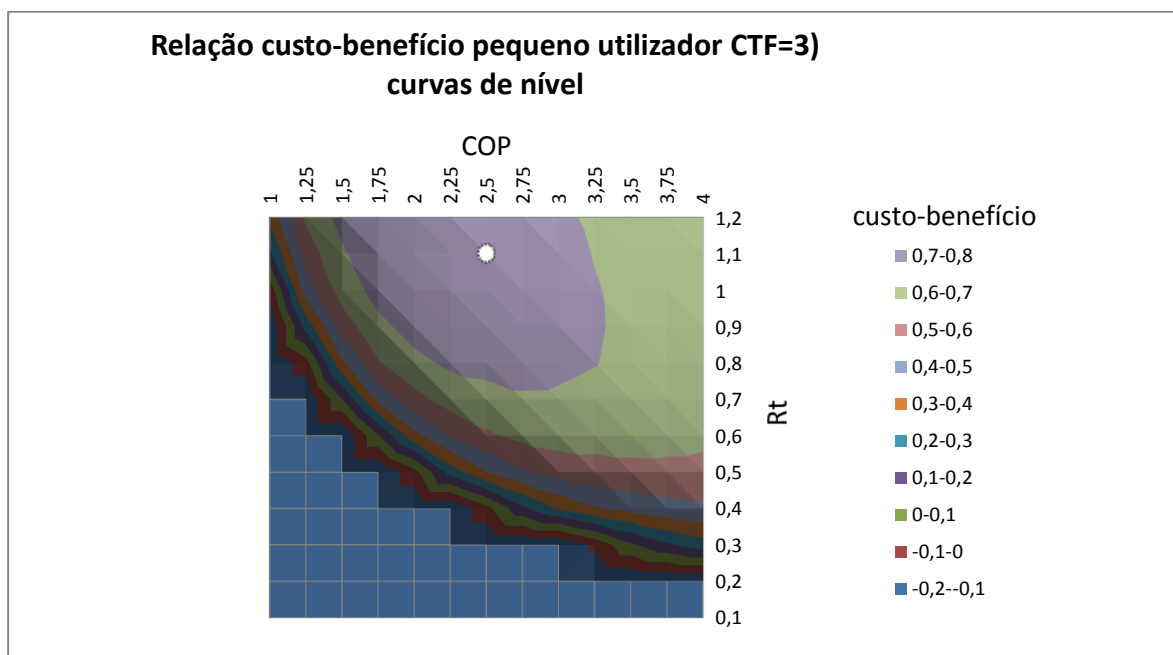


Gráfico 3-13 Relação custo-benefício pequeno utilizador (CTF=3) curvas de nível

Os Gráfico 3-14 e Gráfico 3-15 para utilizador médio apresentam curvas de níveis semelhantes, com o máximo nas coordenadas $R_t=1,1$ [°C/kcal] e $COP=2$. Para este perfil de utilizador já obtivemos uma relação custo-benefício superior a unidade ($\delta \geq 1$). Para um intervalo de $COP = [2,4 - 1,6]$ e $R_t = [0,9 - 1,2]$ existe benefício para o consumidor/utilizador. Este benefício é atingido no intervalo de R_t mais elevado mas de COP mais baixo conforme assinalados no Gráfico 3-15.

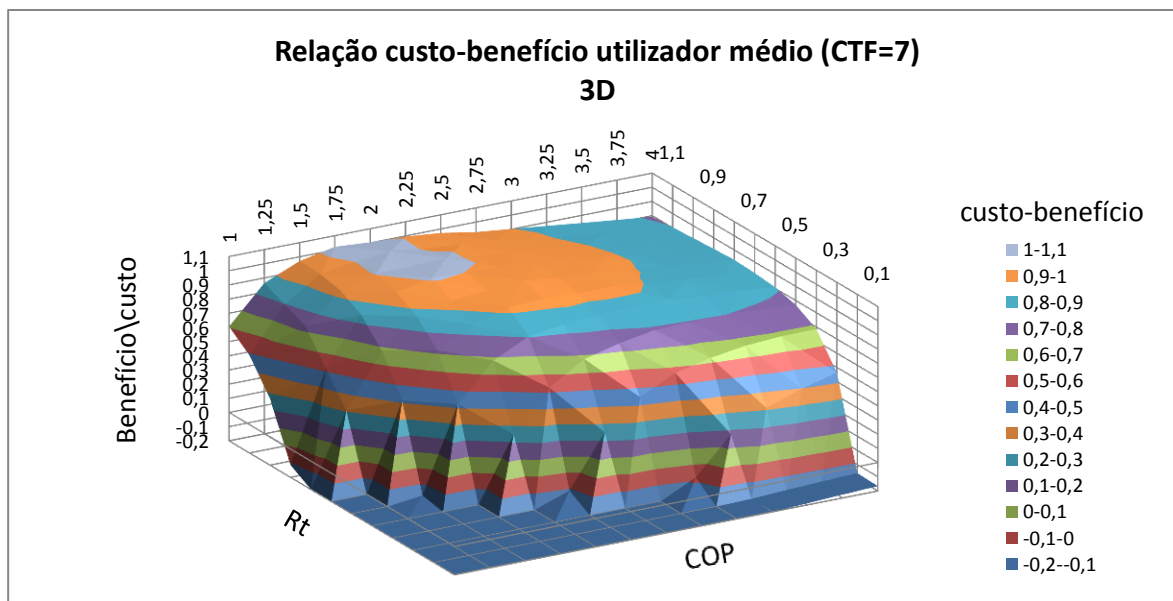


Gráfico 3-14 Relação custo-benefício utilizador médio (CTF=7) 3D

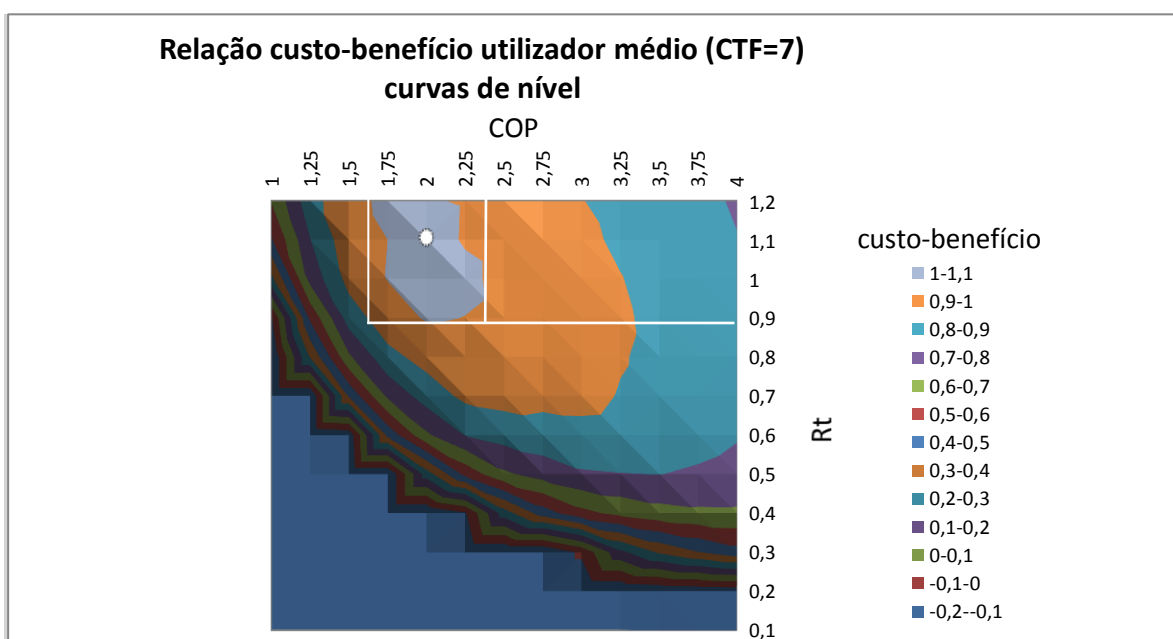


Gráfico 3-15 Relação custo-benefício utilizador médio (CTF=7) curvas de nível

Os Gráfico 3-16 e Gráfico 3-17 para um grande utilizador apresentam curvas de níveis semelhantes às restantes, com o máximo nas coordenadas $R_t=1$ [°C/kcal] e $COP=2$. Este perfil de utilizador apresenta uma área maior de benefício $\delta \geq 1$ conforme assinalado no Gráfico 3-17. Passámos a ter benefícios para intervalos de $COP = [4 - 1,1]$ e de $R_t = [0,43 - 1,2]$.

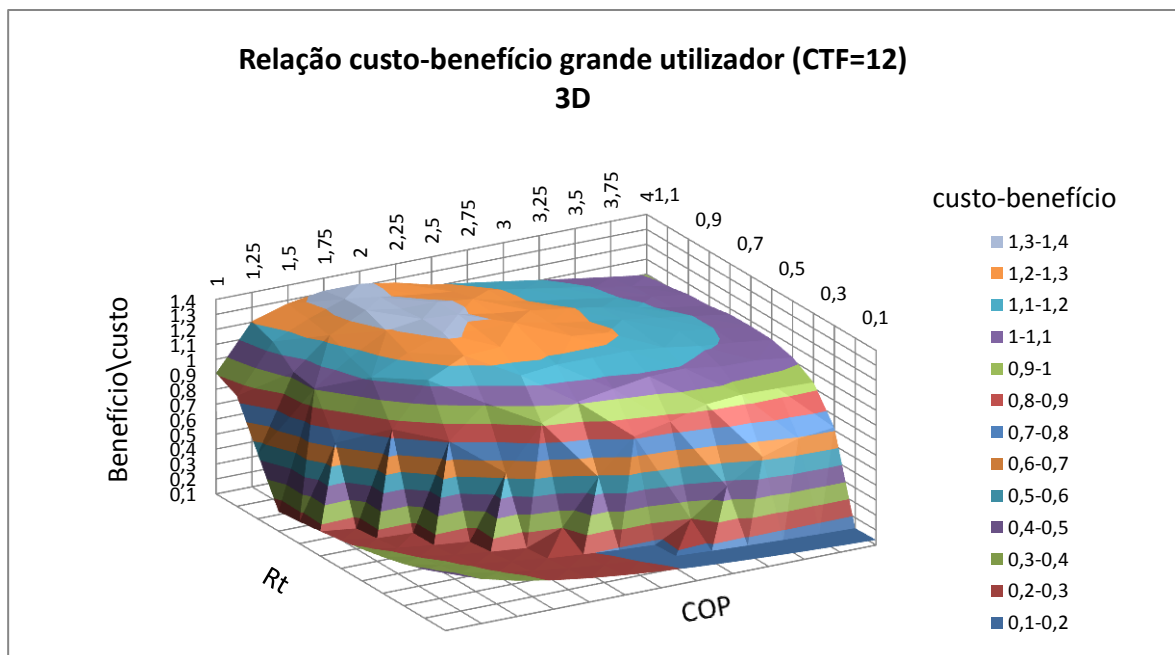


Gráfico 3-16 Relação custo-benefício grande utilizador (CTF=12) 3D

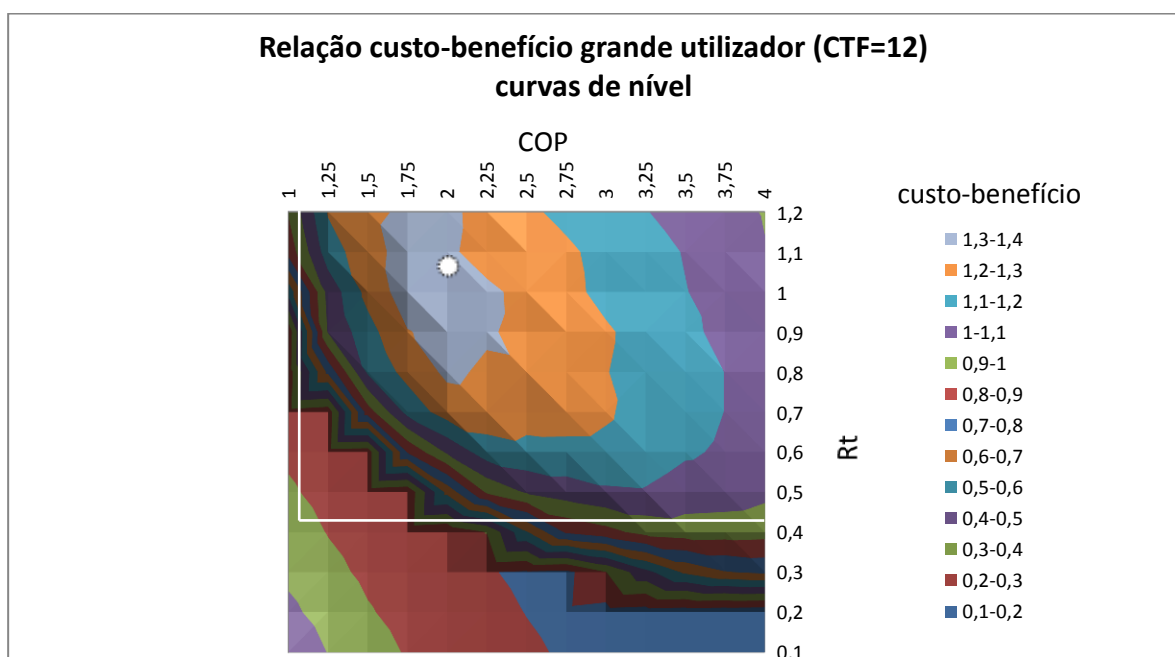


Gráfico 3-17 Relação custo-benefício grande utilizador (CTF=12) curvas de nível

3.5 Conclusão

Pela análise dos três conjuntos de gráficos constatamos que não existe benefício para pequenos utilizadores. Este comportamento deriva do fato do frigorífico operar com uma baixa carga térmica $CTF=3$ [kcal°C], bastante inferior ao do valor de referência $CTF=7$ [kcal°C]. Porque se analisarmos o gráfico do utilizador médio com uma $CTF=7$ [kcal°C], que é o valor de referência obtivemos uma região com benefício de 10% superior ao valor de referência. Este valor aumentou consideravelmente, para 40% superior ao valor de referência, se o frigorífico trabalhar na carga máxima do teste $CTF=12$ [kcal°C], perfil de grande utilizador. Este comportamento indicia que a inércia térmica tem uma correlação muito forte com a relação custo benefício.

Se analisarmos os três conjuntos de gráficos verificamos que em termos de classificação energética atingimos melhores desempenhos para valores crescentes de COP e R_t . Em contrapartida a análise da relação custo/ benefício tem o ponto ótimo centrado no valor de referência, sendo crescente com cargas térmicas superiores ao valor de referência.

Em ambos os casos verificamos que as faixas das curvas de nível abaixo dos valores de referência, A++ na classificação energética e na relação custo benefício são estreitas. Estas faixas estreitas indicaram que pequenas variações no COP e/ou R_t originaram variação na classificação.

Concluimos com este estudo que os parâmetros de entrada do modelo matemático têm bastante influência na classificação energética. Se considerarmos que o frigorífico têm uma determinada classificação no ato da compra, mas sofre alterações que dependem de forma significativa da sua utilização. A mais evidente é a CTF, utilizadores com frigoríficos mais cheios ou mais vazios. A manutenção tem influência na variação da R_t e COP. A fraca manutenção degrada os vedantes da porta reduzindo a R_t , a falta de limpeza do condensador e bem como a não descongelação periódica do congelador reduzem a eficiência do sistema de frio. A componente de utilização não é contemplada na presente diretiva de classificação energética da União Europeia.

3.6 Proposta de nova classificação energética

Em virtude desta conclusão tentamos apresentar uma nova classificação que tivesse em linha de conta os parâmetros de entrada do modelo matemático.

Nesse sentido aplicamos aos dados da simulação o método de “*clustering*”.

“*clustering*” é uma técnica de “*data mining*” para fazer agrupamentos automáticos de dados segundo seu grau de semelhança. Este método de agrupamento de

dados é conseguido pela análise e comparação entre os valores numéricos dos dados fornecidos. A criação destas classes de agrupamento é efetuada de modo automática pelo algoritmo não existindo uma pré classificação [9].

Para gerar as classes e classificar as ocorrências, o algoritmo faz uma comparação entre cada valor por meio de uma distância. Geralmente utiliza-se a distância euclidiana para calcular a que distância está uma ocorrência da outra. A maneira de calcular esta distância vai depender da quantidade de dados fornecidos. Após o cálculo das distâncias o algoritmo calcula centróides para cada uma das classes. Conforme o algoritmo vai iterando, o valor de cada centróide é recalculado pela média dos valores de cada ocorrência que pertence a este centróide. Com isso, o algoritmo gera k centróides e coloca as ocorrências dos dados de acordo com sua distância dos centróides.

O método de “*clustering*” utilizamos foi o K-means.

“*K-means*” é um algoritmo de agrupamento baseado num valor de “k”, que é o número de agrupamentos possíveis de encontrar num conjunto de dados de n dimensões, para o presente trabalho os parâmetros de entrada do modelo. Normalmente o valor de “k” é um parâmetro de entrada, conhecido ou assumido com o número de agrupamentos desejáveis. “k” representa o centro designado como centróide do agrupamento e “*means*” representa a média das distâncias de todos os pontos de um agrupamento ao centróide. O resultado obtido pelo algoritmo após várias iterações é um agrupamento compacto de pontos em torno de “k” em que a média das distâncias apresenta o menor valor. Quanto mais compacto é o agrupamento, mais definida esta a classificação, existindo uma nítida separação entre eles [9].

Podemos medir o grau de separação entre classe a partir da seguinte expressão [10]:

$$\sum_{X_i \in C_k} \|X_i - \bar{X}_k\|^2 = \sum_{i=1}^m Z_{ki} \|X_i - \bar{X}_k\|^2 \quad (3.4)$$

Onde a média do cluster é definido do seguinte modo [10]:

$$\bar{X}_k = \frac{1}{m_k} \sum_{X_i \in C_k} X_i \quad (3.5)$$

Em que:

$$m_k = \sum_{i=1}^m Z_{ki} \quad (3.6)$$

Representa o número total de pontos inseridos no agrupamento “k”. O parâmetro Z_{ki} é uma variável indicadora que permite determinar o quanto os pontos de um determinado agrupamento estão próximos do centro “k”.

Podemos aferir a qualidade da separação entre agrupamentos calculamos o parâmetro ε_K a partir da seguinte expressão [10]:

$$\varepsilon_K = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^K Z_{ki} \|X_i - \bar{X}_k\|^2 \quad (3.7)$$

O MATLAB na sua “*tool box*” disponibiliza uma ferramenta de agrupamento de dados de forma automática designada por “*clustering*”. Esta ferramenta é baseada no algoritmo K-Means. Esta ferramenta indica “*clustering*” lógicos a partir de uma matriz de dados que se pretende classificar e o número de agrupamentos pretendidos, K. Os dados que pretendemos agrupar em clusters estão divididos em dois grupos. Ambos têm em comum os valores de COP, Rt e CTF, para uma das matrizes incluímos os valores de energia obtidos na simulação e na outra utilizamos o valor da relação Benefício/Custo.

O algoritmo transforma a matriz de dados num espaço euclidiano de dimensão igual à coluna. A partir das coordenadas dos diversos pontos calcula a distância a um ponto provável de centro de massa, designado centróide. Através de um cálculo iterativo o algoritmo determina um ponto ótimo que minimiza a média da soma das distâncias conforme referido anteriormente. A partir deste cálculo o MATLAB exporta um gráfico designado por silhueta. Este gráfico permite visualizar o quando cada ponto pertencente a um determinado cluster e está afastado do cluster vizinho. Este afastamento é representado por um valor relativo (ε_K). O intervalo de valores da silhueta está compreendido entre 1, que corresponde a pontos bastante afastados do cluster vizinho, ou seja, existe uma boa separação do cluster em relação aos outros e o valor 0 que corresponde a pontos que estão muito próximos do cluster vizinho, não existindo uma separação nítida entre os cluster [11]. Através da análise deste gráfico pode-se concluir se existe uma nítida separação entre cluster. No eixo das abcissas encontra-se o valor da silhueta e nas ordenadas o ponto considerado.

A partir do Gráfico 3-18 da silhueta para 6 cluster a semelhança do considerado no atual “*labelling*” (seis classes), podemos observar que a maior parte dos pontos do primeiro cluster k_1 apresenta valores de silhueta maiores que 0,9 o que indica que os pontos incluídos neste agrupamento estão nitidamente afastado do agrupamento vizinho. Mas os restantes clusters apresentam valores de silhueta inferiores a 0,8 e 0,7, indicativos que existem demasiados cluster não permitindo uma nítida separação entre eles. O melhor termo de comparação entre soluções de “*clustering*” e o valor médio da silhueta, quanto maior for melhor é a solução. O valor da solução para 6 cluster é de 0.6727.

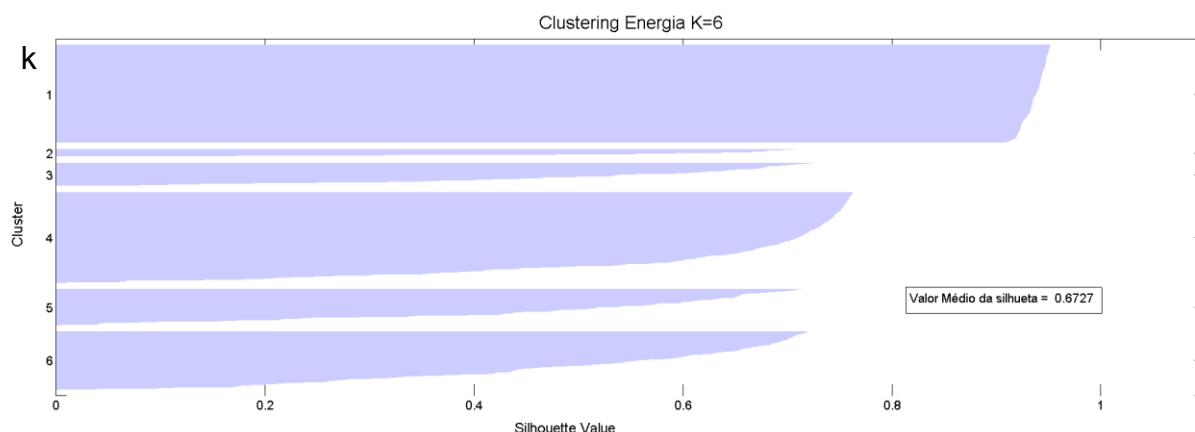


Gráfico 3-18 Silhueta “clustering” energia K=6

Efetuamos uma nova solução com 3 clusters. No Gráfico 3-19 apresentamos o resultado.

O terceiro cluster k_3 tem valores médios acima de 0,9 muito próximo de 1 e os restantes cluster têm valores inferiores a 0,8. O que indica que a separação em 3 clusters pode não ser a mais indicada. Como o valor médio para este caso é de 0.7209, maior que o anterior fomos correr uma solução para 2 clusters.

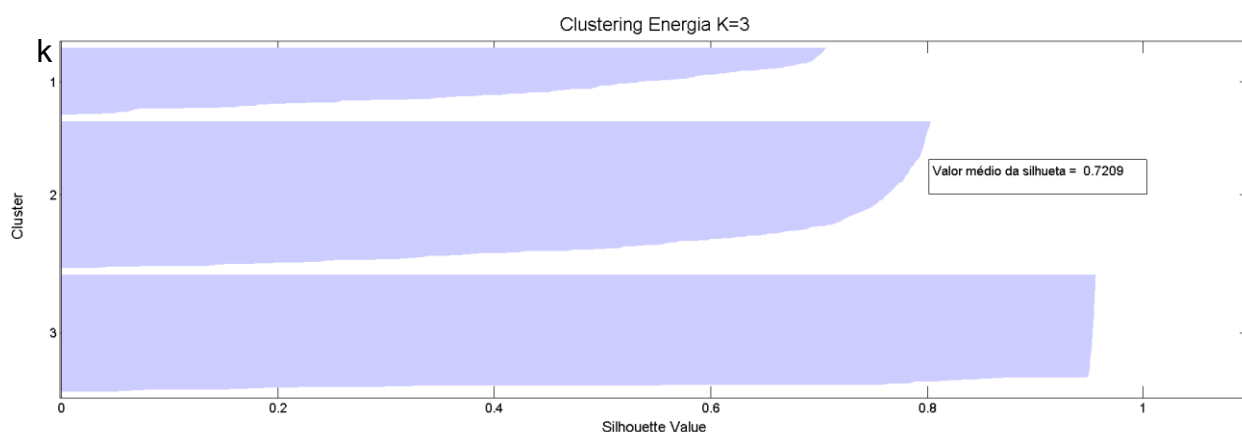


Gráfico 3-19 Silhueta “clustering” energia K=3

A solução com 2 clusters Gráfico 3-20 apresenta uma silhueta com valores acima de 0,8 nos dois clusters. O Valor médio da silhueta é de 0.7688 e é superior à solução anterior de $k=3$.

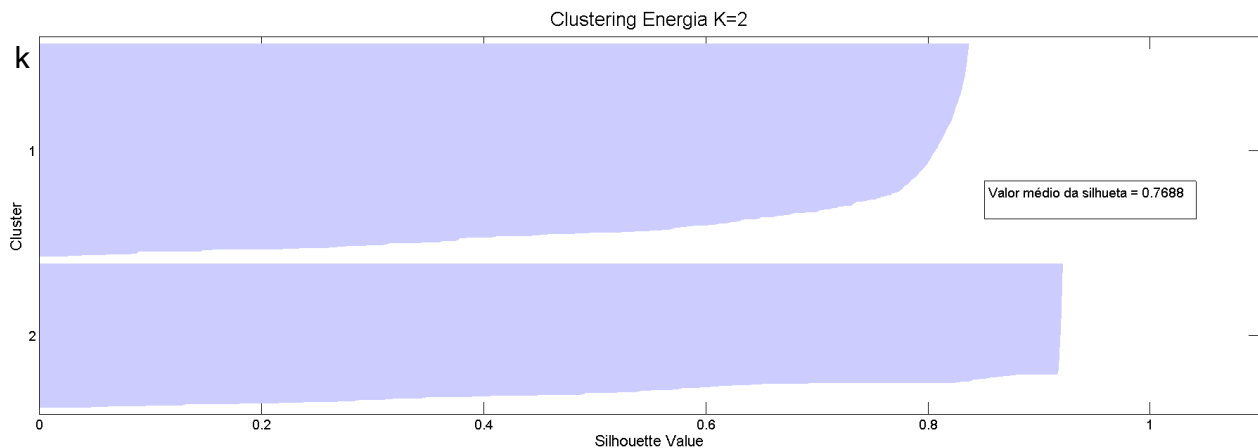


Gráfico 3-20 Silhueta “clustering” energia K=2

Este é o melhor “clustering” de classificação energética tendo em conta todos os parâmetros de entrada do modelo matemático.

Apresentamos para esta solução o Gráfico 3-21 representativo dos pontos e Centróides dos dois clusters encontrados. Os parâmetros que definem os Centróides estão patentes na Tabela 3-6. A classificação mais baixa é obtida com o ponto (COP=2,0306; $R_t=0,3639$ [°C/kcal]; CTF=7,5517 [kcal°C]; Energia=780,0520 [kWh/ano]). A mais alta para o ponto (COP=2,8171 ; $R_t=0,8433$ [°C/kcal]; CTF=7,4651 [kcal°C]; Energia=234,7981 [kWh/ano]). Deste resultado ficou evidenciado que a carga térmica tem sensivelmente o mesmo valor para os dois pontos, existe uma variação no valor do COP de 0,7865 e uma variação da R_t de 0,4794 [°C/kcal], mas a variação da energia é de 545,2539 [kWh/ano] substancialmente mais elevada.

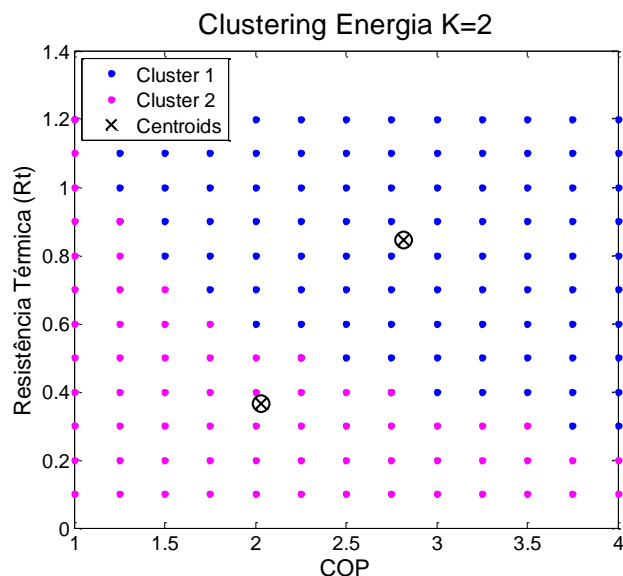


Gráfico 3-21 Pontos “clustering” energia K=2

Tabela 3-6 Pontos dos centróides energia K=2

Centróides dos Clusters K=2			
COP	Rt [°C/kcal]	CTF [kcal/°C]	Energia [kWh/ano]
2.0306	0.3639	7.5517	780.0520
2.8171	0.8433	7.4651	234.7981

Efetuamos o mesmo procedimento mas com os resultados obtidos no estudo da relação custo/ benefício.

Pela visualização do Gráfico 3-22 verificamos que em todos os agrupamentos valores baixos de silhueta (inferior a 0,6), indicativo de que não existe uma nítida separação entre os seis agrupamentos. Para além deste fato o agrupamento 6 apresenta valores de silhueta negativos.

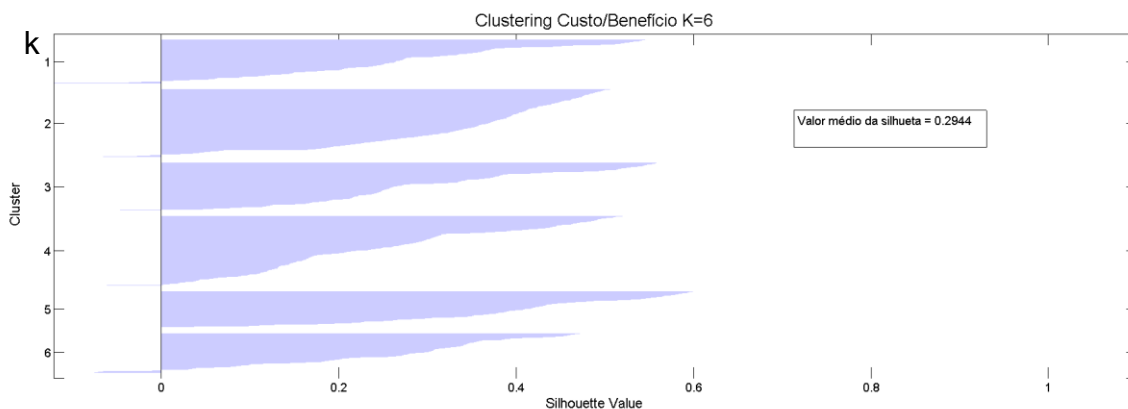


Gráfico 3-22 Silhueta “clustering” custo benefício K=6

A análise do Gráfico 3-23 para três agrupamentos verificamos um afastamento mais evidente entre os três agrupamentos. O valor médio da silhueta é de 0,3776, sendo um valor superior a anterior solução.

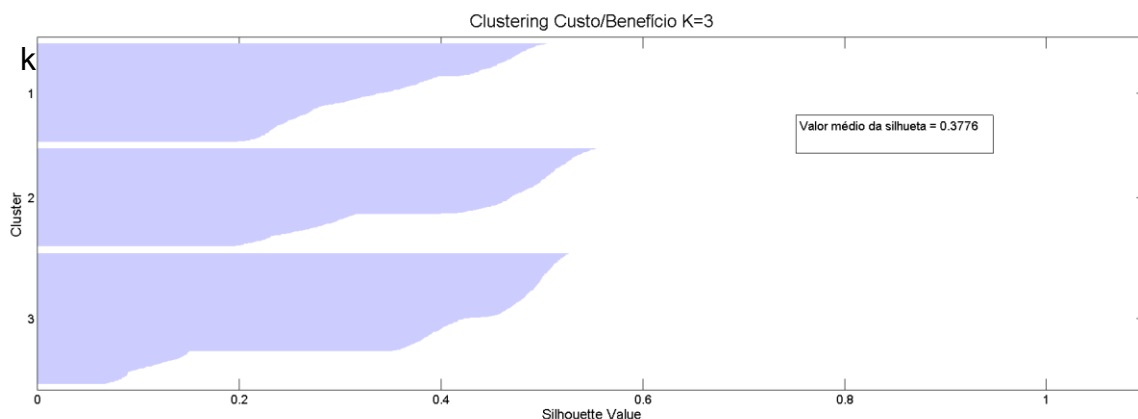


Gráfico 3-23 Silhueta “clustering” custo benefício K=3

A solução para dois agrupamentos apresenta valores de silhueta indicativos de uma separação entre os agrupamentos melhor do que a anterior como está patente no Gráfico 3-24. E o valor médio de silhueta melhorou em relação ao apresentado na solução anterior passou para 0,4621.

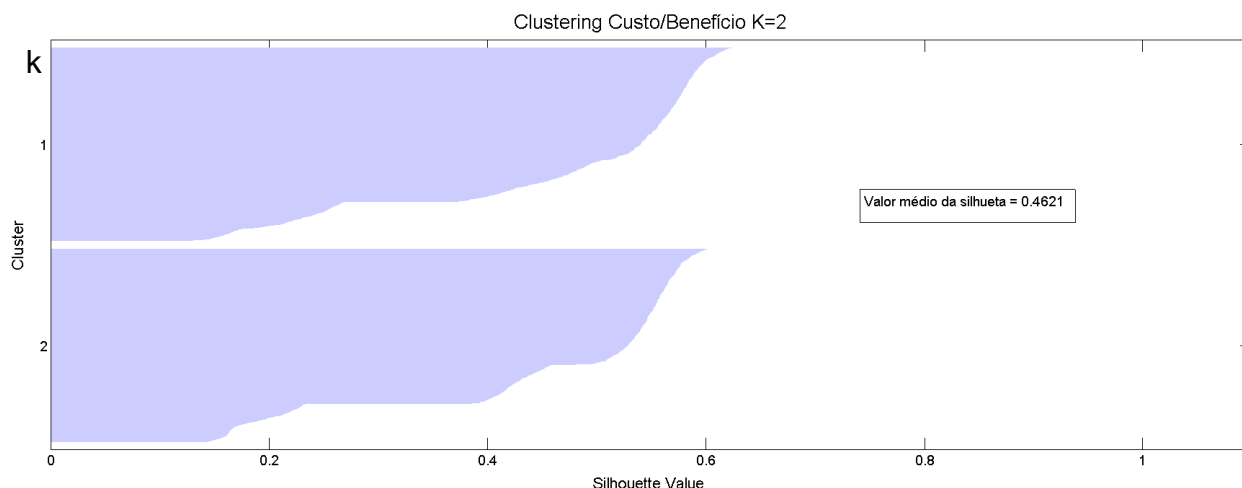


Gráfico 3-24 Silhueta “clustering” custo benefício K=2

Pela observação dos 3 gráficos de silhueta apresentados verifica-mos que a semelhança do estudo para o “clustering” com valores de energia este também apresenta um “clustering” otimizado para 2 cluster.

O valor médio da silhueta é de 0.4621 bastante inferior ao obtido na classificação anterior 0.7688. Este valor médio de silhueta indica uma menor nitidez na separação dos dois clusters.

O gráfico dos pontos e respetivos centróides que apresentamos no Gráfico 3-25 apresenta os dois centros dos clusters aparentemente coincidentes. Pela leitura da Tabela 3-7 verificamos que valores de COP e R_t são iguais para ambos centróides. A diferença entre os dois centróides residiu na CTF para a classificação mais baixa o CTF é de 5 e para a mais alta é de 10. O peso da relação custo-benefício assentou unicamente na carga térmica do frigorífico (CTF). Para a classificação mais baixa o ponto é de (COP=2,5; $R_t=0,65$ [°C/kcal]; CTF=5 [kcal°C]; Custo/Benef.=0,2885). A mais alta é o ponto (COP=2,5; $R_t=0,65$ [°C/kcal]; CTF=10 [kcal°C]; custo-benef.=0.6639).

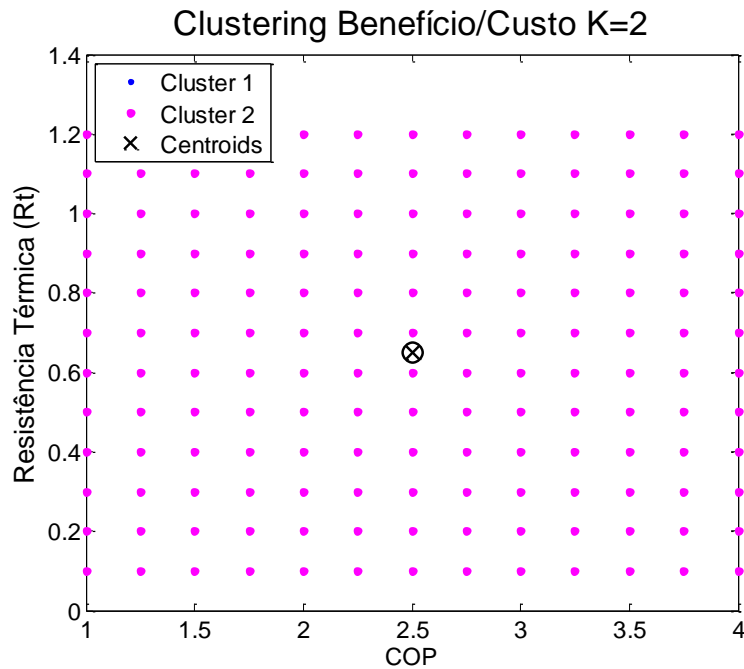


Gráfico 3-25 Pontos “clustering” custo benefício K=2

Tabela 3-7 Pontos dos Centróides custo benefício K=2

Centróides dos Clusters K=2			
COP	Rt [°C/kcal]	CTF [kcal°C]	Energia [kWh/ano]
2,50	0,65	5,00	0,2885
2,50	0,65	10,00	0,6639

Podemos concluir com este estudo que os parâmetros de entrada do modelo matemático têm grande influência na classificação energética. Pequenas variações no COP, Rt, CTF originaram escalonamento diverso na classificação energética dos aparelhos frigoríficos.

A leitura da Tabela 3-6 apresenta um valor de COP para a classificação energética mais elevada de 2,87171 que representa 36% mais do que o valor de COP para classificação mais baixa. Para a carga térmica o valor é praticamente idêntico para as duas classificações. Mas para Rt a classificação energética mais elevada apresenta um valor de 0,8433 [°C/kcal] que representa 132% mais do que o valor de Rt da classificação mais baixa. Por outro lado a leitura da Tabela 3-7 indica valores iguais para COP e Rt para as duas classificações mas a CTF da classificação mais elevada apresenta um valor de 10 [kcal°C] que representa 100% mais do que a classificação mais baixa. Da leitura das duas tabelas verificamos um

intervalo estreito entre os valores de COP compreendido entre [2,036-2,8171].

Podemos então pelo estudo efetuado concluir que uma alternativa à classificação energética atual deveria incorporar a resistência térmica do isolamento bem como a CTF. Estes dois parâmetros apresentam bastante sensibilidade à variação da classificação energética. O COP apresenta um intervalo que podemos considerar como otimizado para uma boa classificação energética [2,036 – 2,8171]. Os parâmetros com maior sensibilidade à classificação energética são também os que mais dependem do consumidor na utilização cotidiana após a aquisição.

Pelo estudo de “*clustering*” efetuado que otimizou os agrupamentos somente para 2 clusters, o que sugere que existam duas classes. Estas classes poderão representar pequeno utilizador e grande utilizador em termos de usufruto da capacidade térmica do frigorífico.

Capítulo-4. Curva de funcionamento DSR-SFC

Modelo de um agregador de cargas controladas por temperatura e caracterização dos parâmetros de funcionamento da curva DSR-SFC.

4.1 Introdução

A União Europeia (EU) pretende implementar uma regulamentação que estabelece, entre outras os requisitos técnicos de ligação á rede da carga que está habilitada a contribuir para a segurança da rede.

Este código está a ser desenvolvido pela ENTSO-E, “European Network of Transmission System Operators for Electricity” [2].

A ENTSO-E é a sucessora de 6 associações regionais de sistema de transmissão de energia elétrica. Foi constituída formalmente em 19 de Dezembro de 2008 em Bruxelas por 42 TSO, incluindo Portugal através do operador de rede de transporte cuja concessão foi atribuída à REN [2].

A ENTSO-E tem como missão através de um corpo legal aprovado no âmbito da EU, trabalhar em prol do benefício dos consumidores de energia elétrica e influenciar com o produto do seu trabalho o futuro da política energética em benefício da sociedade em geral nos grandes desafios que se apresentam nas áreas de: Segurança, Mercados, Sustentabilidade e interligação de redes. [2]

Desde Abril de 2012 a ENTSO-E através de um dos seus grupos de trabalho tem desenvolvido esforços na elaboração de um código que estabeleça, de acordo com princípios legais de não discriminação entre outros, de forma eficiente do ponto de vista económico e técnico a inclusão de requisitos comuns a serem respeitadas por todos os operadores de rede para a inclusão de instalações de carga (ex. industriais ou domésticas) de forma a permitir o desenvolvimento de funções associadas a “*demand side response*”.

Podemos ler na versão preliminar da DCC “*demand connection code*”, de 27 Junho de 2012 publicado para consulta pública prévia, na nota introdutória 11 o seguinte:

“A segurança do sistema não pode ser assegurada independentemente das capacidades técnicas de todos os usuários. Historicamente instalações de geração formaram a espinha dorsal do fornecimento de capacidades técnicas. No entanto, no futuro, espera-se que o papel dos utilizadores da carga irá desempenhar um papel mais crucial a este respeito. A coordenação ao nível de geração e da procura, em conjunto com um adequado desempenho e dimensionamento dos equipamentos conectados às redes, com robustez para enfrentar os distúrbios e ajudar a evitar uma qualquer grande perturbação ou para facilitar a recuperação do sistema após um colapso são pré-requisitos fundamentais” [1].

Esta nota evidencia que existe por parte da União Europeia uma forte preocupação na segurança e estabilidade das redes de energia elétrica numa perspetiva pan-europeias. Pretende-se com este código que a carga seja mais um elemento que contribua para estabilidade e segurança num ambiente de crescente incerteza associada à imprevisibilidade da geração de natureza renovável.

Na mensagem chave do documento “ *Demand Side Response – ENTSO-E policy paper*” [12] a ENTSO-E, reforça o papel dos consumidores:

“ A DSR cria valor para o consumidor e a sociedade em geral. A DSR pode ser uma opção de custo-benefício que permite preços acessíveis de energia ao consumidor premiando a sua mudança de comportamento de consumo.

A ENTSO-E na versão preliminar da DDC anteriormente referida define cinco possibilidades de DSR:

1. “*Demand Side Response Active Power Control (DSR APC)*” – Instalações ou redes de distribuição local com disponibilidade de modulação dos consumos pelos TSO’s.
2. “*Demand Side Response Reactive Power Control (DSR RPC)*” – Cargas reativas inseridas em Instalações com disponibilidade de modulação dessas cargas pelos TSO’s.
3. “*Demand Side Response Low Voltage Demand Disconnection (DSR LVDD)*” - Instalações ou redes de distribuição local com disponibilidade de deslastre pelos TSO’s em caso de cavas de tensão.
4. “*Demand Side Response Low Frequency Demand Disconnection (DSR LFDD)*” - Instalações ou redes de distribuição com disponibilidade de deslastre pelos TSO’s em caso de baixa frequência.
5. “*Demand Side Response System Frequency Control (DSR SFC)*” – definido como uma resposta do lado da carga associada a uma funcionalidade a incluir no controlo de temperatura que proporciona uma redução ou aumento da demanda em resposta a flutuações de frequência na rede elétrica, feitas de uma forma autónoma que dão uma resposta através da temperatura alvo, de modo a mitigar estas flutuações.

Neste trabalho pretendemos:

- Estudar uma das cargas elegíveis para o uso da funcionalidade DSR-SFC (frigorífico doméstico)
- Dar um contributo para a parametrização da curva de funcionamento do DSR SFC aplicada ao frigorífico doméstico.

Os parâmetros que influenciam a temperatura no interior do frigorífico estão relacionados com a construção do frigorífico e com a sua utilização. Os parâmetros com influência na temperatura no interior do frigorífico, que abordamos nos capítulos 2 e 3 são: a resistência térmica (R_t), o rendimento do sistema de frio denominado COP e a carga térmica (CTF) existente no interior do frigorífico resultante dos alimentos. Estes parâmetros conforme expresso na conclusão do capítulo 3 são modelados pelo utilizador na forma do seu uso e manutenção. O set-point também é um parâmetro modelado pelo utilizador que estabelece a temperatura central da janela de histerese do controlador térmico por janela de histerese. A variação da temperatura do set-point estabelecido pelo utilizador é o valor de saída do controlador equipado com a funcionalidade DSR-SFC, que doravante passamos a designar por controlador DSR-SFC.

As perturbações de “*over frequency*” e “*under frequency*” originadas por variação acentuada no perfil da carga e da geração de natureza renovável introduzem flutuações na frequência da rede que comprometem a segurança e estabilidade do sistema elétrico.

Tanto a frequência como a temperatura são variáveis com o tempo e são os parâmetros de entrada dos controladores DSR-SFC. A análise do comportamento da curva apresentada no Gráfico 4-1 deverá ser efetuada no domínio do tempo de modo a estudarmos qual a curva da DSR-SFC que melhor resposta dá através da variação da carga às perturbações da rede. A qualidade da resposta é mensurável na quantidade de variação da frequência e no intervalo de tempo em que ocorre.

Para podermos estudar qual o contributo que cada uma das curvas de parametrização da DSR-SFC têm na estabilidade e segurança da rede elétrica, criámos um modelo agregador representativo de um conjunto de parques de frigoríficos existentes em Portugal.

4.2 Agregação de sistemas DSR SFC

4.2.1 Caraterização da população

Para modelizar o agregador é necessário quantificar a carga passível de integrar um agregador com capacidade para providenciar DSR-SFC. Para o presente estudo de todas as cargas comandadas por controladores de histerese como por exemplo ar condicionado, aparelhos de aquecimento, instalações de frio industrial, etc. só são elegíveis para este estudo os frigoríficos com congelador e combinados. Porque o modelo desenvolvido no capítulo 2 é de um frigorífico com congelador e não foram criados modelos para outro tipo de equipamentos.

Neste sentido interessa quantificar o universo de frigoríficos em estudo existente em Portugal. Não existem estudos que indicam quantos frigoríficos e de que tipos existem em Portugal. Podemos no entanto estimar esse valor a partir das

estatísticas oficiais publicadas pela PORDATA [13].

A população Portuguesa segundo os censos de 2011 era de 10,5 milhões de pessoas. Distribuídos por famílias com um número de indivíduos conforme Tabela 4-1

Tabela 4-1 Famílias clássicas por número de indivíduos [13]

	Famílias clássicas por número de indivíduos					Total de indivíduos
	Total	1	2	3-5	6+	
1960	2.356.982	253.848	460.694	1.238.754	403.686	8.777.157
1970	2.345.225	234.445	514.655	1.223.960	372.165	8.611.110
1981	2.9244.43	379.245	686.958	1.547.140	311.100	9.788.154
1991	3.147.403	435.864	797.770	1.706.215	207.554	9.808.961
2001	3.650.757	631.762	1.036.312	1.863.461	119.222	10.255.526
2011	4.0437.26	866.827	1.277.558	1.818.875	80.466	10.436.516

Pela mesma fonte, a PORDATA, em 2010 99,3% das famílias Portuguesas tinham frigorífico.

Se atendermos que a capacidade dos frigoríficos recomendada em função da dimensão do agregado familiar, como por exemplo o referido no estudo sobre poupança energética efetuado pela agência municipal de energia do Seixal indica os valores apresentados na Tabela 4-2 [14].

Tabela 4-2 Capacidade do frigorífico em função da dimensão do agregado [14]

Capacidade do Frigorífico função do agregado	
Tamanho do agregado	Capacidade do frigorífico (Litros)
1	100-150
2-3	150-250
3-4	250-350
4>	350-500

Então podemos estimar que o número total de frigoríficos é de 4043726 e são distribuídos por capacidade, conforme o que calculamos e representamos na Tabela 4-3

Tabela 4-3 Estimativa do parque de frigoríficos em Portugal

Tamanho do agregado	Nº De Famílias	Capacidade do frigorífico [Litros]	Nº de Frigoríficos
1	866 827	100-150	866 827
2	1 277 558	150-250	1 277 558
3-5	1 818 875	250-500	1 899 341
6>	80 466		
Nº Total de Frigoríficos			4.043.726

Estes dados estão em sintonia com os dados do inquérito ao consumo de energia

no sector doméstico publicados em 2011 referente a estatísticas até 2010 [15].

Na Figura 0-2 do anexo A apresentamos um quadro publicado nesse inquérito que indica que existem em Portugal em 2010, 227.339 frigoríficos sem congelador, 2.364.621 frigoríficos com congelador e 1.496.128 frigoríficos combinados. Estes dados indicaram um total de 4.088.088 frigoríficos. Este valor apresenta um desvio em relação ao anteriormente calculado de 44.362 frigoríficos representa um desvio relativo inferior a 1,1%.

Para podermos associar a capacidade em litros de cada frigorífico ao respetivo compressor, consultamos tabelas de fabricantes de compressores como a indicada na Figura 0-4 inserida no anexo C.

Podemos deste modo associar ao parque de frigoríficos a potência dos motores dos compressores recomendados pelos fabricantes. Em síntese apresentamos na Tabela 4-4 cessa correspondência [16].

Tabela 4-4 Potência recomendada do motor por capacidade do frigorífico [16]

Capacidade do frigorífico [Litros]	Potência do compressor [HP]	Potência do motor [W]	Nº De Frigoríficos
100-150	1/10	75	866827
150-250	1/8	93	1277558
250-500	1/4	186	1899341

Atendendo aos dados do inquérito ao consumo de 2010 [15] a distribuição dos frigoríficos por classificação energética é a que apresentamos na Tabela 4-5. O número total de frigoríficos que apresentamos nesta tabela não é coincidente com os que estão patentes no mesmo estudo e que apresentamos no anexo A na Figura 0-1. Sendo necessária a informação da distribuição dos aparelhos frigoríficos pelas classes, calculamos também na Tabela 4-5 a distribuição percentual.

Tabela 4-5 Distribuição do parque de frigoríficos por classes de eficiência energética

Tipo de frigorífico	Classe de eficiência energética						Numero total
	A++	A+	A	B	C	D	
Frigorifico sem Congelador	6686	15785	73686	55049	38235	8119	197560
Frigorifico com Congelador	25820	176847	900861	514720	52228	36313	1706789
Frigorifico combinado	40740	215057	740927	235026	215720	15545	1463015
Total	73246	407689	1715474	804795	306183	59977	3367364
Percentagem [%]	2,18	12,11	50,94	23,90	9,09	1,78	

Esta distribuição percentual permite calcularmos o número de frigoríficos por classe energética, tendo como base o total de 4.043.726 patente na Tabela 4-3. As percentagens que apresentamos na Tabela 4-6 são ajustadas ao valor total de frigoríficos considerados e estão dentro da ordem de grandeza.

Através do cruzamento dos dados estatísticos apresentados caracterizamos o parque de frigoríficos existentes em Portugal conforme a Tabela 4-6.

Tabela 4-6 Caracterização do parque de frigoríficos em Portugal

	Capacidade do frigorífico (Litros)	Potência do motor (W)	NÚMERO DE FRIGORÍFICOS POR CLASSE ENERGÉTICA						Total
			A++	A+	A	B	C	D	
Frigorífico sem Congelador	100-150	75	1.111	6.186	26.031	12.212	3.854	910	50.305
	150-250	93	1.638	9.118	38.367	18.000	5.680	1.341	74.144
	250-500	186	2.437	13.562	57.065	26.771	8.448	1.995	110.278
Frigorífico com Congelador	100-150	75	9.750	54.269	228.353	107.129	33.805	7.984	441.290
	150-250	93	14.370	79.986	336.565	157.896	49.824	1.961	640.603
	250-500	186	21.374	118.967	500.588	234.845	74.106	17.502	967.381
Frigorífico combinado	100-150	75	8.333	46.379	195.154	91.554	28.890	6.823	377.134
	150-250	93	12.281	68.357	287.634	134.940	42.581	10.056	555.851
	250-500	186	18.266	101.671	427.811	200.702	63.332	14.957	826.740
Total			89.560	498.495	2.097.570	984.051	310.520	63.530	4.043.726
Porcentagem			2,21	12,30	51,75	24,28	7,66	1,81	

Com este estudo estatístico baseado no inquérito ao consumo de 2010 apresentado pela DGE e INE [15] caracterizamos a constituição do parque de frigoríficos. Este estudo permite também caracterizar o perfil de carga constituída pelos diversos frigoríficos existentes em Portugal continental.

4.2.2 Caraterização do agregado

Olhando para a distribuição dos aparelhos frigoríficos pelas classes de eficiência que apresentamos na Tabela 4-6 vemos que as duas classes com maior penetração no mercado são a A e a B tem 51,75% e 24,287% respetivamente. As classes mais eficientes A++ e A+ têm 2,21% e 12,30% respetivamente representando um total de 14,51% de cota de mercado. As classes menos eficientes C e ≤ D têm 7,66% e 1,81% respetivamente representando um total de 9,47% do mercado. Atendendo a esta distribuição criamos 4 grupos com a seguinte distribuição, grupo I aparelhos frigoríficos de eficiência alta ($\geq A+$), grupo II eficiência média alta (A), grupo III eficiência média baixa (B) e grupo IV eficiência Baixa ($\leq C$).

Consideramos também para este estudo, três tipos de frigoríficos com capacidades adequadas aos três grupos familiares, conforme Tabela 4-2. As capacidades dos

frigoríficos selecionados são 414L para agregados superiores a 2 pessoas, 218L para agregados de 2 pessoas e 118L para agregados de 1 pessoa. A estes três grupos passamos a designar Grande Utilizador (GU), Médio Utilizador (MU) e Pequeno Utilizador (PU)

Para cada um destes modelos calculamos o consumo de referência ($SC\alpha$) de acordo com classificação energética da diretiva da União Europeia N° 94/2 EC de 21 de Janeiro de 1994 e posteriores revisões [8]. Apresentamos os cálculos em síntese na Tabela 4-7.

Tabela 4-7 Cálculo do consumo anual de referência para os modelos em estudo

CONSUMO ANUAL DE REFERÊNCIA [kWh/ano]									
	$M\alpha$	V_c (l)	T_c	FF	CC	BI	$N\alpha$	CH	$SC\alpha$
Frigorífico (118L) (ZANUSSI ZRT724W) (PU)	0,78	100	5	1	1	1	303	0	432,32
		18	-18						
Frigorífico (228L) (ZANUSSI ZRT724W) (MU)	0,78	184	5	1	1	1	303	0	562,77
		44	-18						
Frigorífico (414L) (SIEMENS KD42VX10) (GU)	0,78	282	5	1	1	1	303	0	830,55
		132	-18						

Com base nos consumos de referência apresentados calculamos para cada aparelho o consumo anual que permite a sua classificação de eficiência energética.

Para a determinação do consumo anual de cada grupo é adotado o seguinte critério:

- Grupo I eficiência alta, consideramos como valor de referência o mais alto dos valores de consumo que permitem classificar como A+.
- Grupo II eficiência Média alta, consideramos como valor de referência o valor médio do intervalo que permite classificar com A.
- Grupo III eficiência Média baixa, consideramos como valor de referência o valor médio do intervalo que permite classificar com B.
- Grupo IV eficiência baixa, consideramos como valor de referência o mais baixo dos valores de consumo que permitem classificar como C.

Na Tabela 4-8 apresentamos os consumos anuais de referência para cada modelo e grupo considerado.

Tabela 4-8 Consumos anuais dos modelos em estudo.

CONSUMOS ANUAIS								
Tipo de frigorífico	Grupo I		Grupo II		Grupo III		Grupo IV	
	$\geq A+$	Valor de referência (kWh/ano)	A	Valor de referência (kWh/ano)	B	Valor de referência (kWh/ano)	$\leq C$	Valor de referência (kWh/ano)
	$\varphi < 42\%$		$55\% > \varphi \geq 42\%$		$75\% > \varphi \geq 55\%$		$\varphi \geq 75\%$	
PU (118 L)	181,58	181,58	237,78	209,68	324,24	281,01		324,24
			181,58		237,78		324,24	
MU (228 L)	236,36	236,36	309,52	272,94	422,07	365,80		422,07
			236,36		309,52		422,07	
GU (414 L)	348,83	348,83	456,80	402,82	622,91	539,86		622,91
			348,83		456,80		622,91	

Para a simulação do parque de frigoríficos criamos 12 modelos de frigoríficos representativos das 4 classes de eficiência energética e 3 tipos de frigoríficos com a respetiva potência do motor, como indicado na Tabela 4-8.

Para determinarmos a quantidade de frigoríficos correspondentes a cada modelo do agregado em estudo seguimos a seguinte metodologia:

- O modelo do frigorífico que desenvolvemos tem como base, um frigorífico com congelador, conforme apresentado no capítulo 2. Do parque de aparelhos que apresentamos na Tabela 4-6 retiramos os frigoríficos sem congelador.
- O frigorífico combinado tem um funcionamento semelhante ao frigorífico com duas portas, portanto também o consideramos no estudo.

Então o agregado em estudo comporta um total de 3.808.998 aparelhos frigoríficos elegíveis.

O somatório das unidades dos 12 modelos representativos dos aparelhos frigoríficos existentes em Portugal e que são compatíveis com o modelo implementado é então de 3 808 998. Calculamos também a potência total estimada por modelo bem como a energia estimada consumida anualmente. Na Tabela 4-9 apresentamos as características dos modelos criados.

O valor da potência instalada para o agregado é de 278.497,1 [kW] o que corresponde a um consumo de energia anual de 1.360 [GWh]. O consumo anual em Portugal no ano passado 2013 foi de 49.148 [GWh] [18] o consumo energético do agregado corresponde a 2,77% desse consumo. Se atendermos as restrições impostas pelo modelo desenvolvido que exclui arcas frigoríficas frigoríficos sem congelador, frigoríficos com dois compressores e instalações de frio industrial os

valores apresentados para o agregado são bastante conservadores em relação aos valores potencialmente reais.

Tabela 4-9 Características dos modelos da simulação

CARACTERÍSTICAS GERAIS DO AGREGADO									
Utilizador	Mod.	Pot. [W]	Potencia efetiva [W]	Cap. do frigorífico [L]	Classificação energética	Quant.	Potência total instalada [kW]	Consumo médio anual p/aparelho (estimativa) [kWh/ano]	Consumo médio anual total (estimativa) [GWh/ano]
PU	I	75	41,25	118	Grupo I	118.731	4.897,6	181,6	21,6
	II	75	41,25	118	Grupo II	423.508	17.469,7	209,7	88,8
	III	75	41,25	118	Grupo III	198.684	8.195,7	281,0	55,8
	IV	75	41,25	118	Grupo IV	77.502	3.197,0	324,2	25,1
MU	V	93	51,15	228	Grupo I	174.995	8.951,0	236,4	41,4
	VI	93	51,15	228	Grupo II	624.200	31.927,8	272,9	170,4
	VII	93	51,15	228	Grupo III	292.836	14.978,6	365,8	107,1
	VIII	93	51,15	228	Grupo IV	104.423	5.341,2	422,1	44,1
GU	IX	186	102,3	414	Grupo I	260.277	26.626,4	348,8	90,8
	X	186	102,3	414	Grupo II	928.398	94.975,2	402,8	374,0
	XI	186	102,3	414	Grupo III	435.547	44.556,5	539,9	235,1
	XII	186	102,3	414	Grupo IV	169.897	17.380,5	622,9	105,8
TOTAL						3.808.998	278.497,1		1.360,0

4.3 Metodologia da simulação

4.3.1 Cenários

O ajuste do nível de produção à demanda é normalmente efetuado de modo automático através de regulação primária de frequência. Esse ajuste é efetuado através de um valor de referência, 50 [Hz] na Europa. O aumento ou diminuição da carga traduz-se num desequilíbrio na velocidade de rotação dos grupos electroprodutores. Quando a carga aumenta, inicialmente o grupo electroprodutor recorre a energia cinética das massas girantes, para compensar esse aumento de energia originando um abaixamento da velocidade. Quando a carga da demanda diminui ocorre o inverso, a velocidade aumenta. A frequência fica assim diretamente associada à rotação do grupo electroprodutor. Esta variação da frequência obriga o regulador automático de velocidade a atuar no controlo do grupo electroprodutor de modo a estabilizar essa variação. Este regulador de

velocidade é parametrizado por um valor constante denominado estatismo. O estatismo pode ser representado pelo declive de uma reta que relaciona a frequência com os valores de potência ativa do grupo electroprodutor $R = \frac{\Delta f}{\Delta P}$. Para o sistema de energia elétrica do agregado considerámos um estatismo de $R=2\%$, o que representa uma variação de 0,02 pu na frequência para uma variação de 1pu na potência ativa.

Pretendemos aferir o contributo de um agregado equipado com controladores DSR-SFC na segurança e estabilidade da rede de transmissão de energia elétrica.

O agregado é composto por 12 modelos caracterizados segundo a Tabela 4-9. Os 12 modelos apresentados têm como base o modelo desenvolvido no capítulo 2. E a partir do estudo efetuado no capítulo 3 determinamos os parâmetros de entrada, a resistência térmica (R_t), a carga térmica do frigorífico (CTF) e o coeficiente de performance COP que determinam consumos energéticos anuais que permitem-nos classificar os modelos em termos de eficiência energética.

A construção do agregado em ambiente MATLAB-Simulink apresentou-nos algumas dificuldades que se prendiam com o cálculo em malha fechada originada pela introdução da DSR-SFC no modelo inicial do frigorífico. Este problema foi ultrapassado com a inclusão de um bloco comparador que interrompeu o cálculo em malha fechada.

Tendo como base os valores aferidos no estudo inicial que apresentamos no capítulo 2 e 3, variámos parâmetros de modo a obtermos um comportamento energético semelhante a Tabela 4-9.

Os valores efetivos de consumo médio anual que apresentamos na Tabela 4-10 apresentam valores diferentes do anteriormente apresentado mas dentro da mesma ordem de grandeza. Este fato é devido a inclusão dos parâmetros de entrada.

Tabela 4-10 Características físicas dos modelos

CARACTERÍSTICAS EFETIVAS DO AGREGADO					
Utilizador	Mod.	Resistência Térmica (Rt) [°C/kcal]	Carga Térmica do Frigorífico [kcal/°C]	Rendimento do sistema de frio (COP)	Consumo médio anual total [GWh/ano]
PU	I	0,90	3	2,4000	22,0
	II	0,80	3	2,4400	88,4
	III	0,75	3	2,2874	55,8
	IV	0,70	3	2,4000	24,8
MU	V	0,90	7,5	1,9500	41,3
	VI	0,85	7,5	1,9700	170,4
	VII	0,75	7,5	1,9100	107,7
	VIII	0,70	7,5	1,8750	44,3
PU	IX	0,90	9	1,4150	90,3
	X	0,85	9	1,4550	367,9
	XI	0,75	9	1,2300	231,2
	XII	0,75	9	1,2450	106,4

Com o agregado constituído pelos 12 modelos, efetuamos simulações tendo em conta dois cenários de perturbação diferentes. Um cenário de “*over frequency*” e outro de “*under frequency*”. O cenário “*under frequency*” que passamos a designar UF pretende estudar a resposta da DSR-SFC quando está a operar na zona I conforme apresentado no Gráfico 4-1. E o cenário “*over frequency*” que passamos a designar OF estuda a resposta do controlador DSR_SFC quando opera na zona III.

Para obtermos a perturbação na rede que permite o funcionamento da DSR-SFC nas duas zonas pretendidas, somamos a carga do agregado um valor constante. Esta carga constante simula todo o consumo para além do agregado de frigoríficos, a carga de base é de 6pu (potência de base 300 [MW]). A potência total do agregado é assim, a soma da carga de base com o somatório de todas as cargas em funcionamento, respeitante ao parque de frigoríficos. Para podermos obter os dois cenários em estudo criamos uma perturbação com a duração de 30min. Um com aumento outro com abaixamento da carga de base.

A perturbação que deu origem ao cenário OF é originada por um step de abaixamento de potência de 2pu sobre a potência de base constante.

O cenário UF tem como base um step de aumento de potência de 3pu. Estes steps originam uma variação da frequência nominal de $2 \times 0.2 = 0.4pu$ (2 [Hz]) e $3 \times 0.2 = 0.6pu$ (3 [Hz]) respetivamente. Estes valores de step permitem que a

frequência da rede sentida na entrada do controlador DSR-SFC durante a perturbação se situe na zona III e I da curva.

O período da simulação é de 6 horas e a perturbação ocorreu 4 horas após o início da simulação. Este escalonamento da perturbação permite aferir o comportamento da carga antes, durante e depois da ocorrência da perturbação.

Para cada cenário efetuamos duas simulações uma com a função DSR-SFC e outra sem a função DSR-SFC. Com estas duas simulações é possível comparar o comportamento da frequência, potência total e energia total nas duas situações. Em resumo efetuamos 2 simulações de cada cenário num total de 4 simulações.

4.3.2 Curvas do DSR-SFC

As curvas associadas ao funcionamento da DSR-SFC permitem-nos modelar as temperaturas de set-point em função da frequência da rede, conforme abordamos na secção 4.1.

Em cada cenário simulamos quatro grupos com três conjuntos de curvas de funcionamento da DSR-SFC. Este conjunto de curvas representa três níveis de impacto sobre a variação da temperatura alvo ou seja do set-point selecionado pelo utilizador no controlador de temperatura. Estas curvas permitem uma variação máxima do set-point de 1 [°C], para uma curva de baixo impacto. De 2 [°C] para uma curva de médio impacto e 3 [°C] para alto impacto.

A cada uma destas curvas está associado 4 declives distintos, variando de pouco pronunciado a muito pronunciado. Estes declives representam a razão entre a variação da temperatura e a variação da frequência $m = \frac{\Delta^{\circ}\text{C}}{\Delta f}$.

O ambiente de simulação que desenvolvemos está representado em diagrama na Figura 4-11.

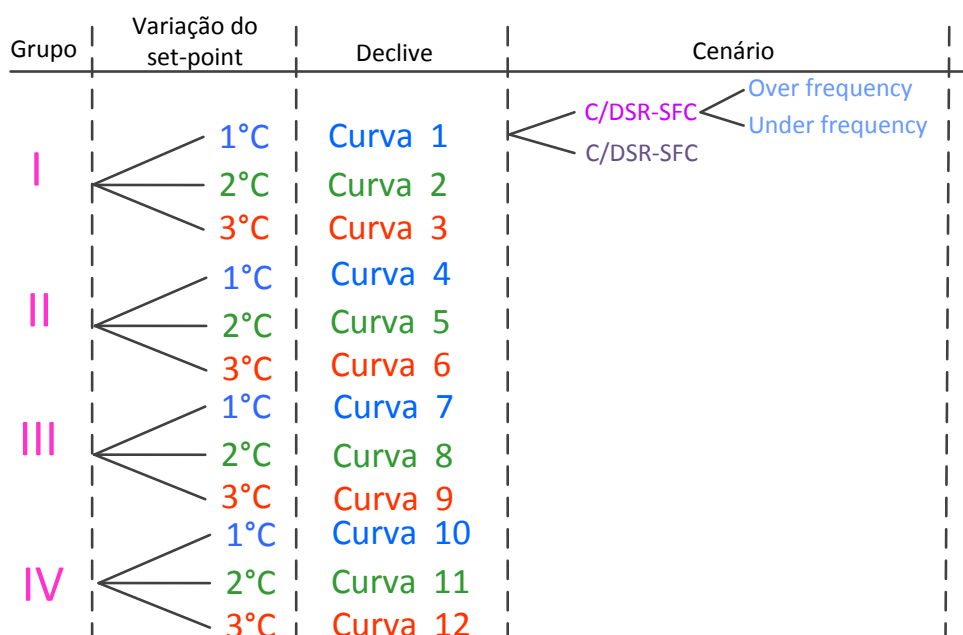


Figura 4-1 Ambiente de simulação

Para os dois cenários simulamos um total de 24 curvas diferentes. Este número de curvas permite-nos aferir o comportamento da DSR-SFC para as diversas parametrizações.

A partir dos dados obtidos por estas simulações podemos aferir o contributo do agregado equipado com controlador DSR-SFC, que pode disponibilizar para a mitigação da instabilidade da rede de energia elétrica perante uma perturbação.

Na Figura 4-2 apresentamos um diagrama detalhado das curvas simuladas.

Para melhor compreensão das curvas que apresentamos vamos exemplificar o comportamento da curva 9. Esta curva esta associada ao cenário UF. Se na entrada do controlador DSR-SFC sentir uma frequência de 49,8 [Hz] não produz à saída nenhuma alteração do set-point. Se a frequência descer para 48,5 [Hz] entra na zona proporcional e tem como resposta o incremento de 1,5 [°C] no set-point. Se a frequência continuar a descer e atingir os 47,5 [Hz] entra na zona de saturação e produz na saída o valor máximo de incremento do set-point que para este caso é de 3 [°C]. Se o valor da frequência continuar a descer a saída do controlador não se altera, indicativo do esgotamento do recurso (zona de saturação). Não existe variação do set-point para além do máximo definido pela curva do DSR-SFC.

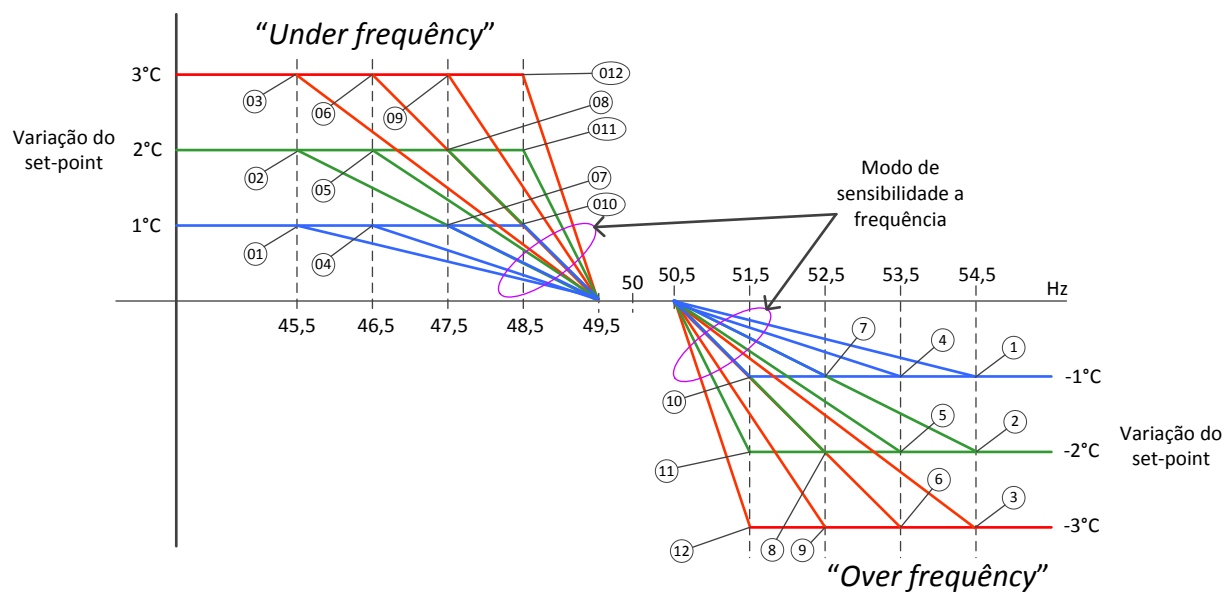


Figura 4-2 Diagrama das curvas do DSR-SFC simuladas

4.3.3 Visão da ENTSO-E

No “*ENTSO-E policy paper*” publicado a 16 de Maio de 2014 a ENTSO-E expõe as suas expectativas com a introdução da DSR-SFC [12].

No ponto 2.3 podemos ler: “DRS é um recurso que pode substituir a custo razoável a perda da instabilidade da rede de transmissão por introdução de geração não convencional do tipo renovável de pendente não previsível, e que a tecnologia atual está amadurecida o suficiente para a sua implementação a nível pan-Europeu.

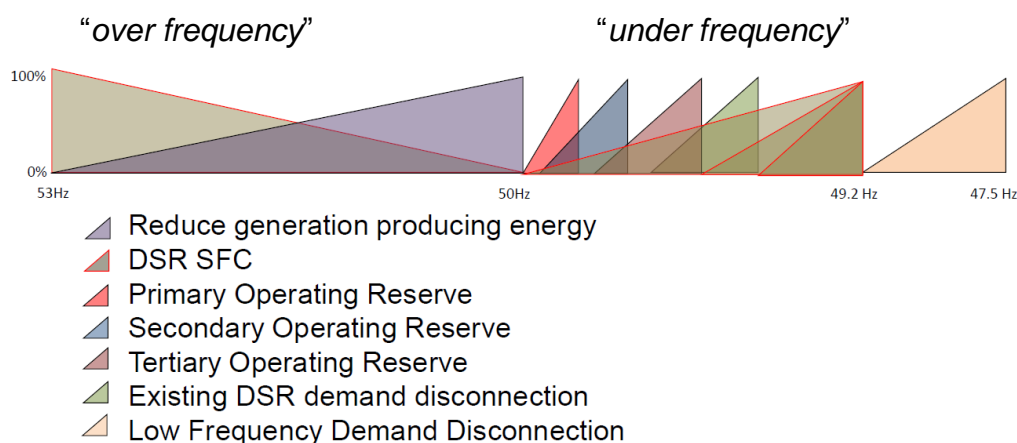


Figura 4-3 Objetivos da ENTSO-E [17]

A Figura 4-3 é retirada da apresentação efetuada em 29 de fevereiro de 2012 no âmbito da discussão sobre o DCC [17].

A figura evidencia a grande expectativa da introdução do DSR-SFC.

Com a entrada da DSR-SFC permite alavancar os custos do atraso na entrada dos diversos dispositivos de segurança clássicos estabelecidos. Em ordem crescente temos a reserva primária de operação existente na inércia das massas girantes dos geradores, a reserva secundária de operação respeitante a regulação secundária dos grupos geradores, a reserva terciária implica a entrada grupos electroprodutores que se encontram em standby. As áreas dos triângulos representam a disponibilidade de recursos de cada dispositivo clássico mitigador da instabilidade da rede. Quanto mais área o triângulo apresenta mais recursos representa ou seja para um cenário de UF quanto menor for a frequência mais recursos são precisos para a repor o nível de frequência nominal. No limite fica evidenciado que para 47,5 [Hz] são esgotados todos os recursos. Assinalada com um contorno a vermelho está evidenciada a área do triângulo correspondente ao recurso expectável da DSR-SFC. A DSR-SFC apresenta áreas crescente deste 0% para uma frequência igual a nominal até 100% correspondente ao esgotamento do recurso para as frequências de 53 [Hz] e 49,2 [Hz]. A área do recurso disponibilizada pela DSR-SFC sobrepõe-se à dos dispositivos clássicos por ordem crescente. Essa área de sobreposição indica o atraso que cada um dos dispositivos tem com a implementação de cargas equipadas com controladores DSR-SFC.

Podemos então concluir pela leitura da Figura 4-3 que a expectativa da ENTSO-E para o funcionamento dos sistemas equipados com a DSR-SFC são de operação no intervalo de 49,2 a 53 [Hz]. E que o potencial de contribuição do DSR-SFC é progressivo e varia dos 100% nos extremos do intervalo de frequência e é nula para a frequência nominal de 50 [Hz].

4.4 Resultados da simulação

4.4.1 Resposta da DSR-SFC a um aumento de frequência

No cenário “*over frequency*” analisamos o comportamento das diversas curvas do DSR-SFC a uma perturbação do tipo step negativo de potência definida pelo desajustamento entre a produção e a demanda. Este desajuste pode ter origem na súbita saída de rede de um grande consumidor ou excesso de produção de energia. Num cenário OF pretendemos avaliar o contributo da DSR-SFC na ação mitigadora do desvio positivo da frequência nominal. Neste cenário os controladores DSR-SFC devem contribuir com uma diminuição da frequência nominal.

Os resultados da simulação para as 12 primeiras curvas do cenário OF estão patentes na Tabela 0-2 publicada no anexo C.

Tabela 4-11 Variação da energia e frequência da simulação do agregado C/S função DSR-SFC cenário OF

COMPARAÇÃO DO GREGADO COM E SEM A FUNÇÃO DSR-SFC										
Curva	Intervalo de funcionamento da DSR SFC [Hz]			Variação Máxima do set-point [°C]	Declive da reta	Variação da energia total (6h) [MWh]	Variação da energia na perturbação (30min) [MWh]	Variação da frequência mínima [Hz]	Variação da potência total máxima [MW]	Variação do Set-point [°C]
	Máximo	Mínimo								
GRUPO I	1	54,5	50,5	1	-0,25	96,79	264,51	-0,07	20,76	-0,42
	2	54,5	50,5	2	-0,50	84,12	435,21	-0,26	78,48	-0,75
	3	54,5	50,5	3	-0,75	45,24	496,76	-0,23	70,26	-1,14
GRUPO II	4	53,5	50,5	1	-0,33	115,78	316,23	-0,20	61,29	-0,52
	5	53,5	50,5	2	-0,67	61,48	482,03	-0,26	78,54	-1,00
	6	53,5	50,5	3	-1,00	50,42	567,68	-0,28	83,88	-1,48
GRUPO III	7	52,5	50,5	1	-0,50	84,12	435,21	-0,26	78,48	-0,75
	8	52,5	50,5	2	-1,00	50,42	567,68	-0,28	83,88	-1,48
	9	52,5	50,5	3	-1,50	-42,29	678,20	-0,20	61,29	-2,33
GRUPO IV	10	51,5	50,5	1	-1,00	-21,64	576,17	-0,23	70,26	-1,00
	11	51,5	50,5	2	-2,00	-101,82	722,64	-0,20	61,29	-2,00
	12	51,5	50,5	3	-3,00	12,80	879,96	-0,67	201,75	-3,00

Na Tabela 4-11 apresentamos a diferença verificada nos valores das principais variáveis em estudo. A análise desta tabela permite quantificar a variação da frequência, potência máxima e energia de um agregado com e sem função DSR-SFC, para as diversas parametrizações das curvas de funcionamento num cenário OF.

Para melhor interpretação dos dados dividimos esta tabela em 4 grupos de 3 curvas cada. Cada grupo corresponde a um intervalo de funcionamento da DSR-SFC:

Grupo I $[50,5 - 54,5] = \Delta f = 4$ [Hz].

Grupo II $[50,5 - 53,5] = \Delta f = 3$ [Hz].

Grupo III $[50,5 - 52,5] = \Delta f = 2$ [Hz].

Grupo IV $[50,5 - 51,5] = \Delta f = 1$ [Hz].

A cada curva do grupo corresponde também uma variação máxima do set-point -1, -2 e -3 [°C] respetivamente para a primeira, segunda e terceira curva.

Pela leitura da Tabela 4-11 podemos verificar que para cada grupo a variação da energia durante a perturbação aumenta com o aumento do declive da reta. Mas a potência no mesmo intervalo não tem o mesmo comportamento. No grupo I a curva 3 com maior declive que a curva 2, tem uma potência máxima inferior no intervalo da perturbação, 70,26 [MW] e 78,48 [MW] respetivamente. Este comportamento é semelhante para os outros grupos, com valores diferentes, excepto para o grupo II onde a potência é sempre crescente para todo o intervalo da perturbação.

Embora exista uma relação direta entre a evolução crescente da energia e o declive da reta, a potência não acompanha esse comportamento. Não encontramos uma relação direta entre o aumento do declive da reta e o aumento da potência e em consequência do estatismo, a redução da frequência.

Se analisarmos sobre o ponto de vista da variação da temperatura verificamos que o aumento do declive da reta implica um aumento da variação do set-point imposto pela DSR-SFC aos aparelhos que constituem o agregado. Portanto existe uma relação direta entre o aumento do declive da reta e o aumento da temperatura do set-point.

Por outro lado se atendermos ao intervalo de funcionamento da DSR-SFC verificamos que quanto menor é o intervalo de funcionamento e maior é o declive, mais perto do valor máximo fica a variação do set-point. Para o grupo IV com o menor intervalo de funcionamento ($\Delta f = 1,5$ [Hz]) a variação do set-point atinge o valor máximo, ou seja, a saturação. Existe portanto uma relação direta entre a diminuição do intervalo de funcionamento da DSR-SFC, o aumento do declive da reta e a variação máxima do set-point.

O valor máximo de redução da frequência ocorre para os parâmetros de menor intervalo de funcionamento da DSR-SFC, do maior declive da reta e maior variação máxima do set-point. Corresponde a curva 12 e a redução da frequência é de -0,67 [Hz].

Para visualizarmos o comportamento do agregado com e sem controlador DSR-SFC num cenário OF apresentamos na Figura 4-3 o gráfico da simulação da curva 12.

A curva a vermelho apresenta a evolução da frequência do agregado com a DSR-SFC e a cor azul sem DSR-SFC.

Para melhor análise dividimos e assinalamos no gráfico 3 etapas, antes, durante e depois da perturbação.

1ª Etapa - Antes da perturbação existe uma sobreposição das duas curvas o que indica que a frequência do agregado está dentro da banda morta da DSR-SFC [49,50Hz-50,50Hz].

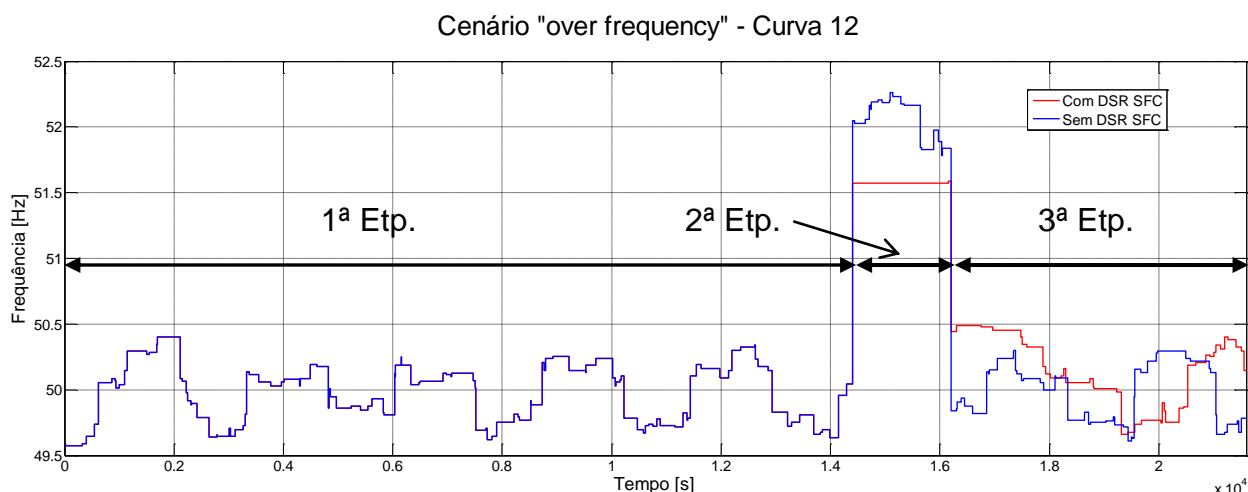


Figura 4-4 Etapas da simulação para cenário "over frequency" c/s DSR-SFC

2ª Etapa - No intervalo de tempo da perturbação observa-se uma redução da frequência devido a DSR-SFC. A frequência na perturbação é sempre superior ao limite máximo do intervalo de funcionamento do controlador DSR-SFC. Em consequência o controlador DSR-SFC entra na zona de saturação. A região de saturação é caracterizada por corresponder sempre a saída do controlador DSR-SFC o valor constante máximo de set-point, independente da variação da frequência sentida na entrada.

3ª Etapa - Após a perturbação verifica-se que não existe sobreposição das duas curvas de frequência. No agregado com a função DSR-SFC a frequência permanece alta embora inferior a 50,50 [Hz]. Este fato é devido à diminuição do set-point dos frigoríficos provocados pela DSR-SFC durante a perturbação. Quando

é reposto o set-point original a temperatura no interior do frigorífico é mais baixa que o habitual e retarda a entrada de funcionamento do motor do compressor.

De modo a analisarmos a resposta da frequência originada pela variação dos diversos parâmetros de configuração da curva de funcionamento da DSR-SFC, apresentamos na Figura 4-5 a Figura 4-15 os gráficos das 11 restantes curvas.

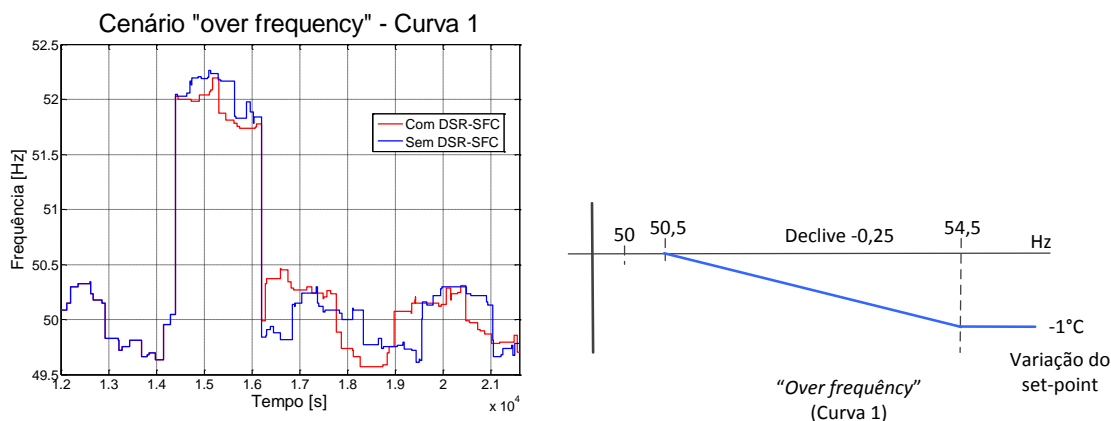


Figura 4-5 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 1

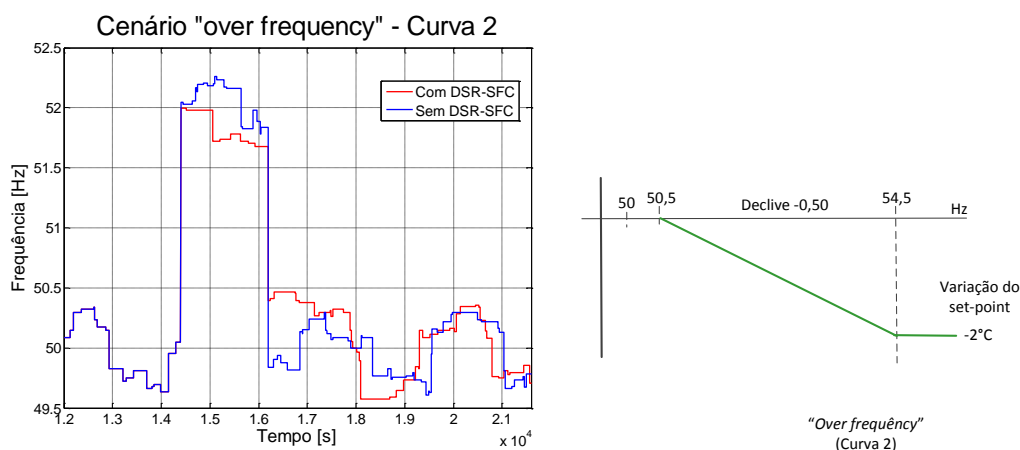


Figura 4-6 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 2

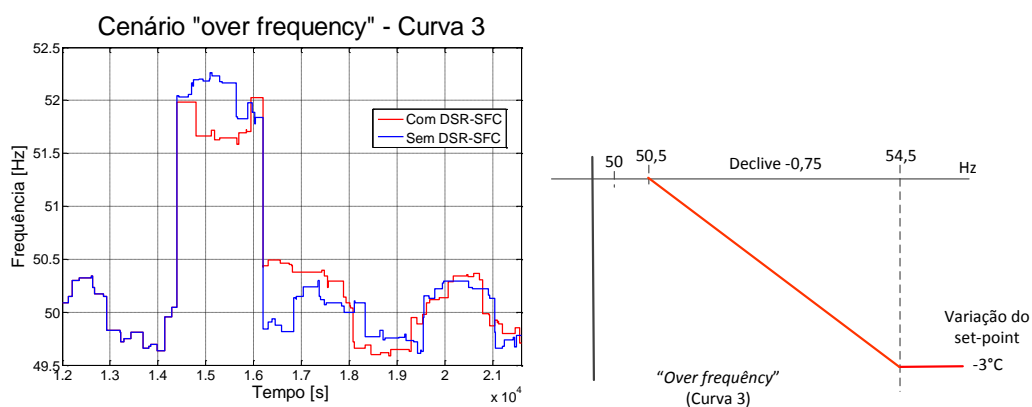


Figura 4-7 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 3

A curva 1, 2 e 3 do grupo I têm um intervalo de funcionamento $\Delta f=4$ [Hz], ou seja, o limite máximo de funcionamento da DSR-SFC para este grupo é de 54,5 [Hz]. O valor máximo do agregado para este cenário sem a função DSR-SFC é de 52,26 [Hz] como pode ser verificado na Tabela 0-2 inserida no anexo C. Representa o valor da perturbação que pretendemos mitigar com ação da DSR-SFC. Este valor corresponde a 2,74 [Hz] inferior ao limite máximo de funcionamento do controlador DSR-SFC. Pela evolução das 3 curvas verifica-se que o tempo de reação diminui com o aumento do declive da reta e também com o aumento da variação máxima do set-point. Ou seja, na curva 1 a frequência é igual ou superior a 52 [Hz] nos primeiros 15 minutos, descendo para 51,87 [Hz].

Na curva 2 esse tempo reduz-se para 11 minutos e a frequência desce para 51,72 [Hz].

Na curva 3 de maior declive do grupo I, o tempo de reação desce para 6,6 minutos e a frequência desce para 51,66 [Hz]. Mas para esta curva nos 4,5 minutos finais existe um aumento da frequência, passando para 52,02 [Hz].

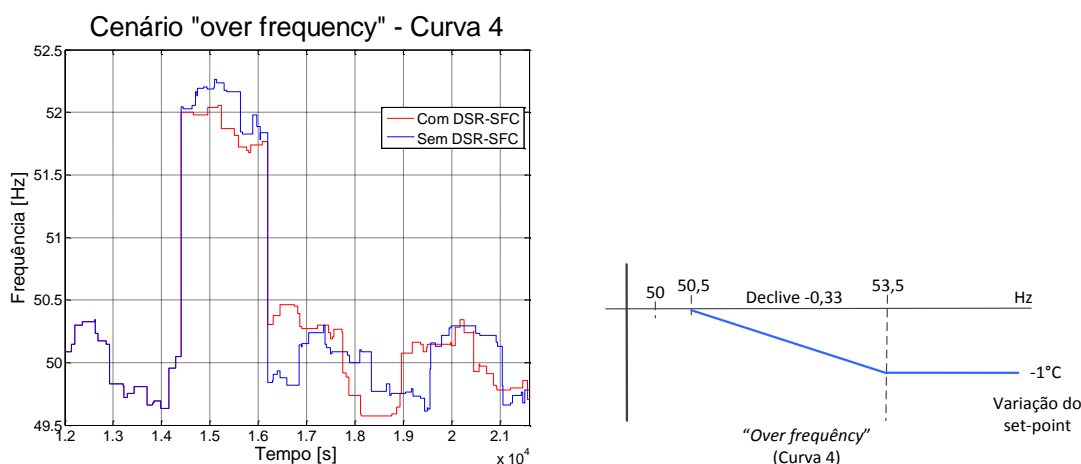


Figura 4-8 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 4

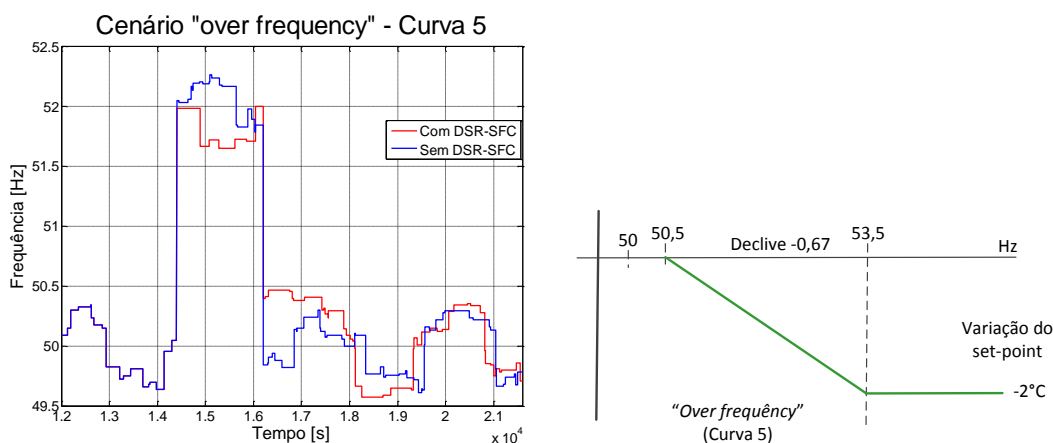


Figura 4-9 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 5

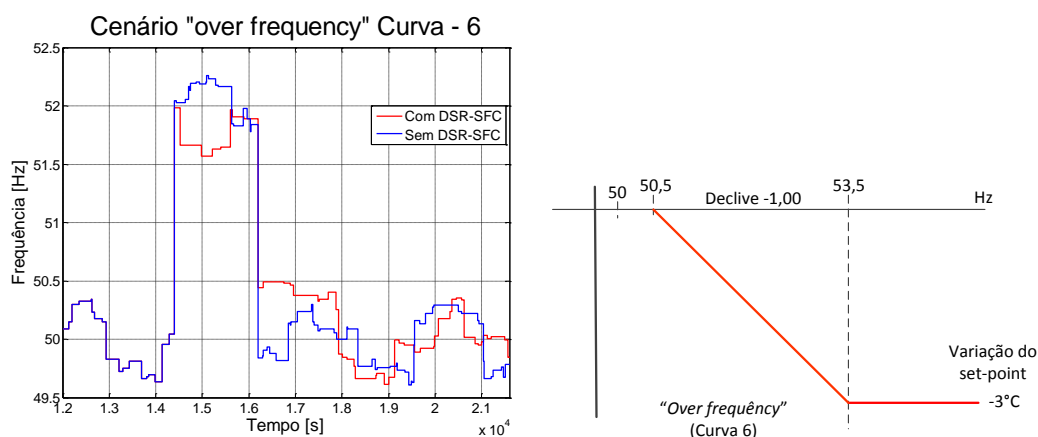


Figura 4-10 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 6

As curvas do grupo II têm um comportamento semelhante ao grupo I. O intervalo de funcionamento do grupo II é $\Delta f=3$ [Hz] sendo limite de saturação de 53,5 [Hz]. A diferença entre o limite máximo e a frequência máxima sem a função DSR-SFC é de 1,74 [Hz]. Verifica-se que para a curva 4, a frequência inicial é igual ou superior a 51,98 [Hz] nos primeiros 14 minutos, sendo inferior a 1 minuto à primeira curva do grupo I. Desce para 51,87 [Hz] e voltou a descer sucessivamente para 51,81, 51,72 [Hz] e no final volta a subir ligeiramente e terminando à 51,77 [Hz].

A curva 5 tem um tempo de reação inferior à curva 4, desce dos 51,98 [Hz] para os 51,66 [Hz] nos primeiros 8,16 minutos, 2,84 minutos menos que a curva 2 do primeiro grupo. O valor oscilou entre 51,66 e 51,72 [Hz] por um período de tempo de 19,33 minutos. Nos últimos 2,5 minutos a frequência sobe para um valor superior ao inicial terminando a 52 [Hz].

Para a curva 6 com o maior declive do grupo II, o tempo de reação diminui, é de 2 minutos. A frequência inicial de 51,98 [Hz] desce para 51,66 [Hz]. No intervalo de tempo entre 2,5 e 22,66 minutos a frequência voltou a descer para 51,57 [Hz]. Nos últimos 9,83 minutos a frequência tem um máximo de 51,97 [Hz] e estabiliza nos 51,89 [Hz].

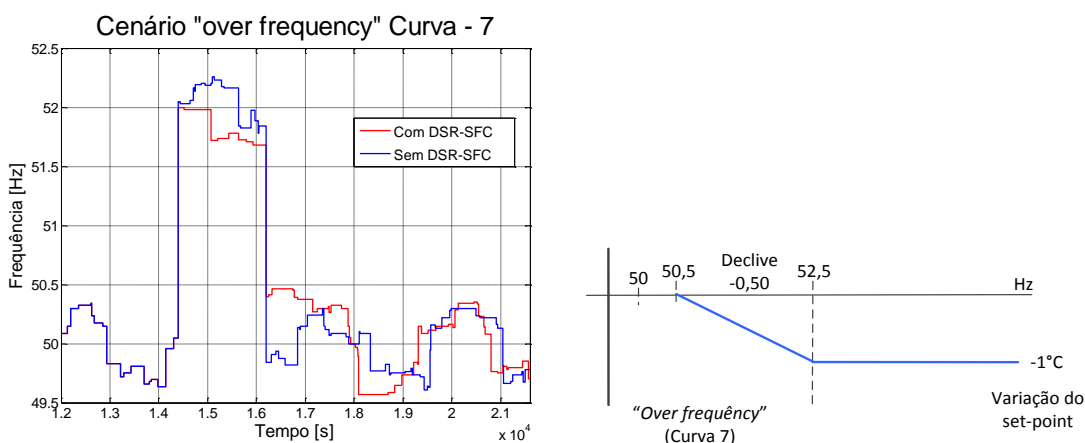


Figura 4-11 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 7

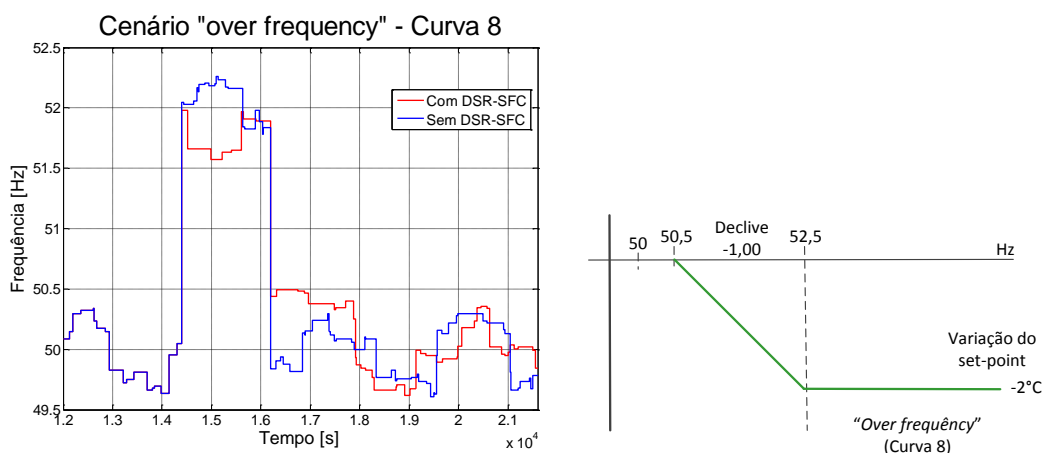


Figura 4-12 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 8

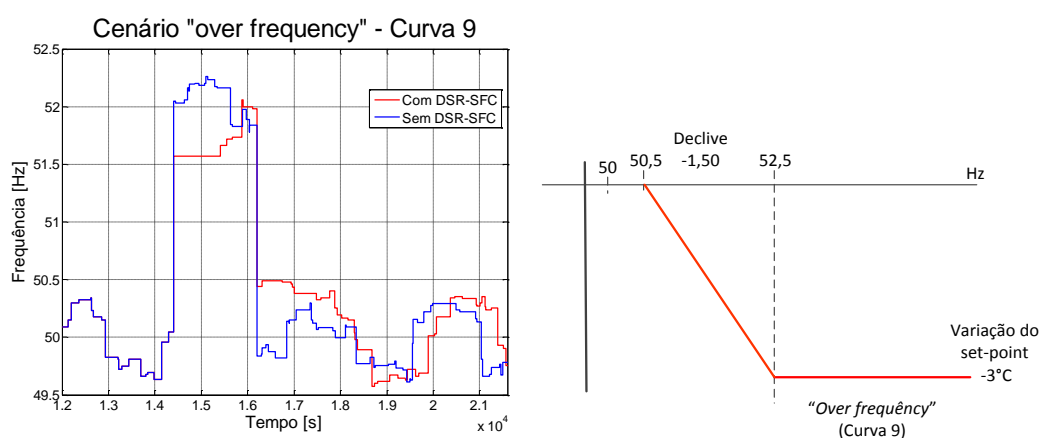


Figura 4-13 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 9

As curvas do grupo III têm um intervalo de funcionamento do DSR-SFC de $\Delta f=2$ [Hz]. O limite de saturação Controlador DSR-SFC é de 52,5 [Hz]. A diferença entre o limite de saturação e frequência máxima do agregado sem a função DSR-SFC é de 0,24 [Hz]. As curvas deste grupo acentuam o comportamento evidenciado nas anteriores. Destaca-se no entanto a última curva do grupo, a curva 9 que apresenta uma frequência inicialmente de 51,57 [Hz] nos 16,83 primeiros minutos e sobe gradualmente até atingir um pico de 52,06 [Hz] nos últimos 5,33 minutos e estabiliza até ao fim nos 52 [Hz]. Esta curva apresenta uma reação imediata a perturbação e só na parte final da perturbação é que tem um aumento da frequência.

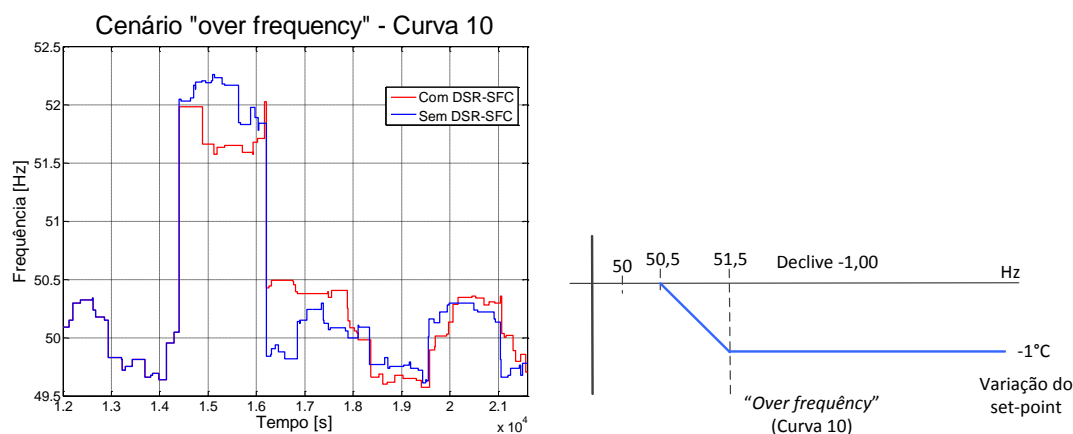


Figura 4-14 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 10

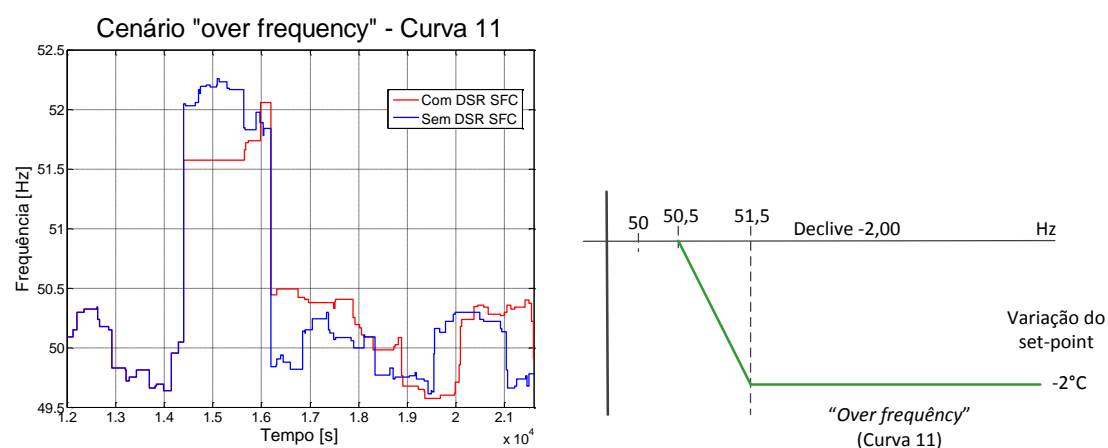


Figura 4-15 Cenário "over frequency" c/s DSR-SFC curva 11

O grupo IV tem um intervalo de funcionamento dos controladores DSR-SFC de $\Delta f = 1$ [Hz] o limite de saturação do controlador DSR-SFC é de 52 [Hz] o que representa 0,26 [Hz] abaixo da frequência máxima do agregado sem DSR-SFC. Para este conjunto de curvas do controlador DSR-SFC funciona na zona de saturação no momento inicial do intervalo. Na sequência dos anteriores acentua ainda mais o comportamento evidenciado nos grupos anteriores.

Verificamos que a curva 11 é muito semelhante á curva 9 do grupo anterior. A frequência inicial é igual mas o tempo até á subida é de 20,88 minutos, mais 2 minutos que a curva 9, sobe também gradualmente até atingir 52,06 [Hz] nos últimos 3,66 minutos.

A curva 12 que apresentamos anteriormente na Figura 4-4 apresenta um valor constante de 51,57 [Hz] durante todo o período da perturbação.

Pelo que descrevemos anteriormente ressalta que a função DSR-SFC responde mais rapidamente quanto mais perto da zona de saturação da curva da DSR-SFC a frequência máxima do agregado sem DSR-SFC está. Ficou também evidenciado que quanto maior é o declive melhor é a resposta.

4.4.2 Resposta do DSR-SFC a uma redução de frequência

Nesta simulação analisamos o comportamento das diversas curvas da DSR-SFC a uma perturbação do tipo step positivo de potência definida pelo desajustamento entre a produção e a demanda. Este desajuste pode ter origem numa súbita saída de rede de uma instalação de produção de energia.

Para este cenário pretendemos avaliar o contributo da DSR-SFC na ação mitigadora do desvio negativo da frequência nominal. Neste cenário os controladores DSR-SFC deverão contribuir com um aumento da frequência

Efetuamos com os mesmos parâmetros que o estudo anterior mas com valores de frequência espelhados em torno dos 50 [Hz] (frequência de nominal da rede). Os valores de variação máxima da temperatura do set-point são os simétricos do cenário anterior.

O resultado da simulação para as 12 curvas do cenário “under frequency” está patente na conforme Tabela 4-2 inserida no anexo C.

Em sintonia com o que efetuamos para a simulação anterior “over frequency” também para este cenário resumimos na Tabela 4-12 a diferença entre os valores da simulação do agregado com e sem a função DSR-SFC.

Tabela 4-12 Comparação da simulação do agregado c/s função DSR-SFC cenário “under frequency”

COMPARAÇÃO DO GREGADO COM E SEM FUNÇÃO DSR-SFC										
Curva		Intervalo de funcionamento da DSR SFC [Hz]		Variação Máxima do (set-point)	Decive da reta	Variação da energia total (6h) [MWh]	Variação da energia na perturbação (30min) [MWh]	Variação da frequência mínima [Hz]	Variação da potência total [MW]	Variação do Set-point [°C]
		Máximo	Mínimo							
GRUPO I	1	49,5	45,5	1	-0,25	-42,64	-406,67	-0,09	-26,97	0,66
	2	49,5	45,5	2	-0,50	-136,77	-626,53	-0,58	-172,71	1,07
	3	49,5	45,5	3	-0,75	-193,41	-701,75	-0,48	-142,83	1,68
GRUPO II	4	49,5	46,5	1	-0,33	-64,18	-513,92	-0,41	-122,91	0,77
	5	49,5	46,5	2	-0,67	-163,49	-669,15	-0,43	-127,71	1,53
	6	49,5	46,5	3	-1,00	-223,21	-731,02	-0,62	-184,62	2,10
GRUPO III	7	49,5	47,5	1	-0,50	-124,22	-610,26	-0,58	-172,71	1,00
	8	49,5	47,5	2	-1,00	-223,25	-727,80	-0,62	-184,62	2,00
	9	49,5	47,5	3	-1,50	-223,11	-742,45	-0,62	-184,62	3,00
GRUPO IV	10	49,5	48,5	1	-1,00	-124,20	-610,29	-0,58	-172,71	1,00
	11	49,5	48,5	2	-2,00	-223,28	-727,76	-0,62	-184,62	2,00
	12	49,5	48,5	3	-3,00	-222,94	-742,40	-0,62	-184,62	3,00

Esta tabela também está dividida em 4 grupos de 3 curvas cada. Cada grupo

corresponde a um intervalo de funcionamento da DSR-SFC.

Grupo I [45,5 - 49,5] = $\Delta f=4$ [Hz].

Grupo II [46,5 - 49,5] = $\Delta f=3$ [Hz].

Grupo III [47,5 - 49,5] = $\Delta f=2$ [Hz].

Grupo IV [48,5 - 49,5] = $\Delta f=1$ [Hz].

A cada curva do grupo corresponde também uma variação máxima do set-point 1, 2 e 3 [°C] respetivamente para a primeira, segunda e terceira curva.

O valor máximo de redução da frequência alcançado na simulação é de -0,62 [Hz] correspondente as curvas 6, 8, 9, 11 e 12.

Pela leitura da coluna de variação do set-point verificamos que para as seis primeiras curvas não atingem a zona de saturação, ou seja, o seu valor máximo. Nas seis últimas é atingido sempre o ponto máximo de variação do set-point.

Sempre que a DSR-SFC atinge o valor máximo do set-point que a curva permite (zona de saturação), a redução da frequência atinge o seu valor máximo. Para curvas com pontos de saturação de 1 [°C] a variação da frequência é -0,58 [Hz] (curva 7 e 10). Para as curvas de saturação 2 [°C] e 3 [°C] a frequência máxima de redução é -0,62 [Hz] (curva 6, 8, 9, 11 e 12).

Ao analisarmos a tabela pelo ponto de vista do declive fica evidenciada uma forte relação entre o aumento do declive e o aumento da frequência. Esta relação só não ocorre na curva 3 com um declive de -0,75 porque apresenta um valor da variação da frequência de -0,48 [Hz], e a curva 2 com menor declive apresenta um valor de redução da frequência de -0,58 [Hz].

Verificamos que para cada grupo a variação da energia durante a perturbação diminui com o aumento do declive da reta. A potência no mesmo intervalo tem o mesmo comportamento. Exceto para a curva 3 que tem maior declive que a curva 2, mas tem uma variação da potência de -142,71 [MW], no intervalo da perturbação. Este valor é de 29,88 [MW] superior á curva 2.

Se analisarmos sobre o ponto de vista da variação da temperatura verificamos que o aumento do declive da reta implica um aumento da variação do set-point. Portanto existe uma forte correlação entre o declive da reta e a variação máxima do set-point.

Por outro lado se atendermos ao intervalo de funcionamento da DSR-SFC verificamos que quanto menor é o intervalo de funcionamento e maior é o declive, mais perto do valor máximo fica a variação do set-point. Para o grupo III e IV com o menor intervalo de funcionamento ($\Delta f=2$ e 1 [Hz]) a variação do set-point atinge o

valor máximo ou seja a saturação. Existe portanto uma correlação forte entre o intervalo de funcionamento do DSR-SFC, o declive da reta e a variação máxima do set-point.

Em termos absolutos o valor máximo de aumento da frequência ocorre para 5 curvas (6, 8, 9, 11 e 12).

Comparando os valores de redução de energia com a variação do set-point, no intervalo da perturbação verificamos que quanto maior é a variação da energia maior é a variação do set-point. A menor variação de energia ocorre para curva 11 com -727,76 [MWh] e uma variação de 2 [°C] no set-point. A maior variação de energia ocorre para a curva 12 com -742,4 [MWh] e uma variação do set-point de 3 [°C]. Constatamos uma relação entre a variação da energia e a variação do set-point.

De modo a analisarmos a variação da frequência originada pela variação dos diversos parâmetros de configuração da curva de funcionamento da DSR-SFC, apresentamos na Figura 4-16 a Figura 4-27 os gráficos das 12 curvas obtidas nas simulações.

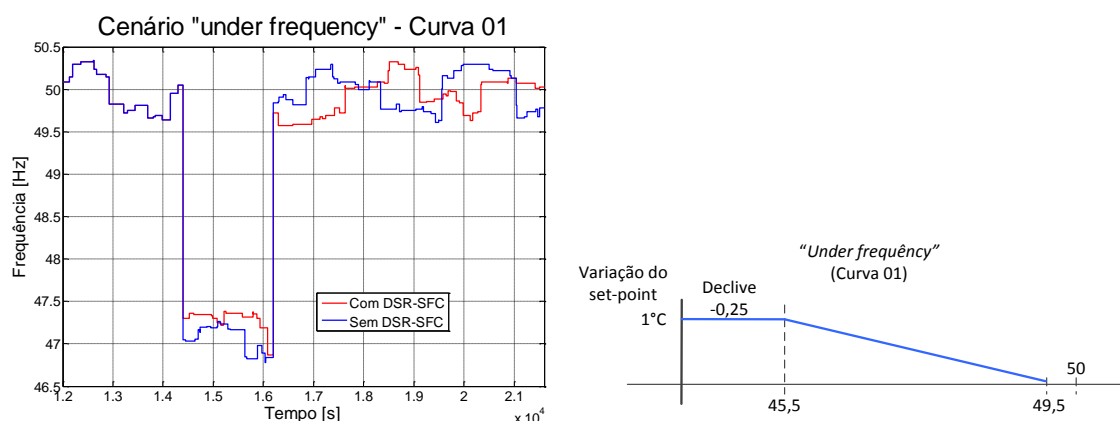


Figura 4-16 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 01

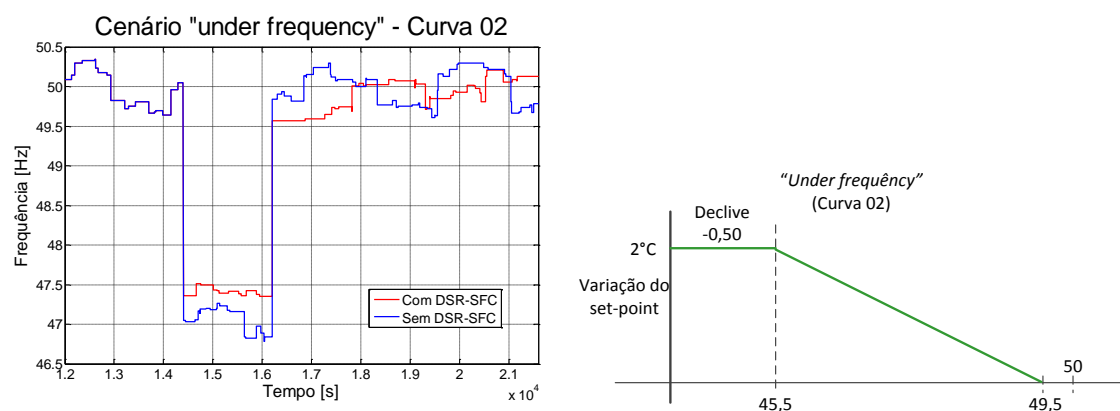


Figura 4-17 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 02



Na curva 2 a frequência oscila entre 47,36 e 47,51 [Hz], e nunca são inferiores aos registados pelo agregado sem a função DSR-SFC. Estes valores são superiores ao que verificamos pela curva 1. A curva 3 tem comportamento idêntico a curva 2 com os valores de oscilação superiores, e que se situam entre 47,26 e 47,51 [Hz].



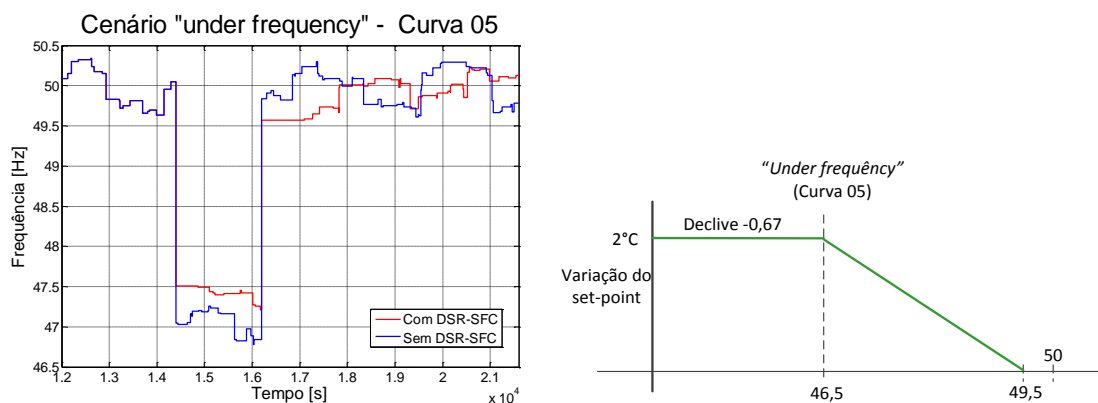


Figura 4-20 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 05

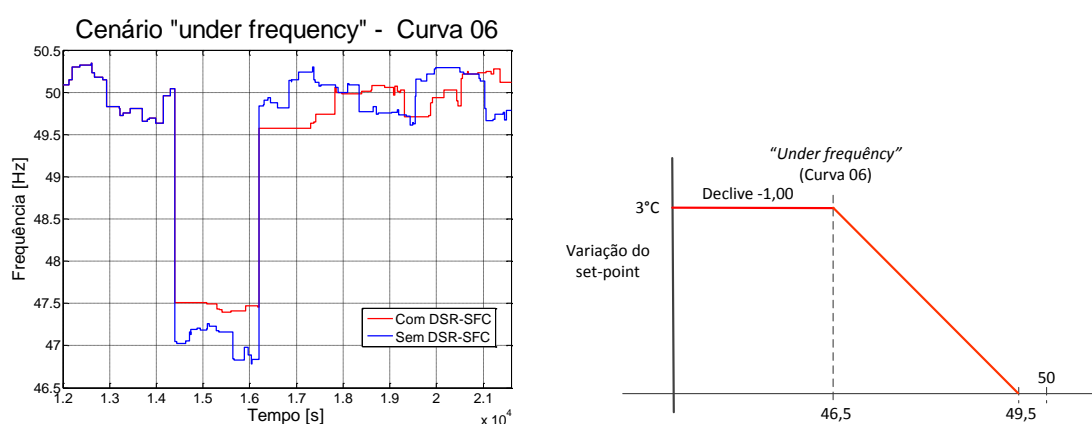


Figura 4-21 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 06

As curvas do grupo II tem um comportamento semelhante às duas últimas do grupo I. Os valores das oscilações da frequência do agregado com a função DSR-SFC vão aumentando com o declive da reta. As oscilações da curva 4 são entre 47,19 e 47,42 [Hz], a curva 5 entre 47,21 e 47,51[Hz], a curva 6 apresenta valores entre 47,4 e 47,51[Hz].

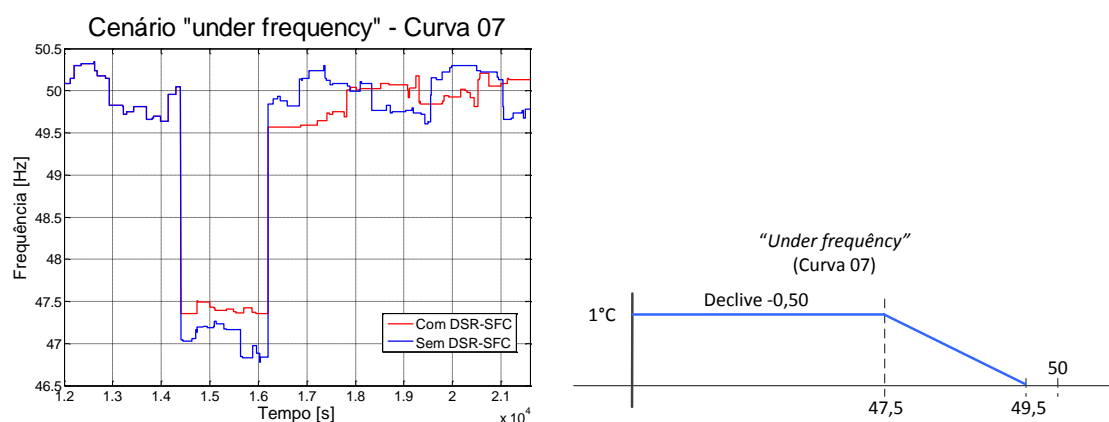


Figura 4-22 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 07

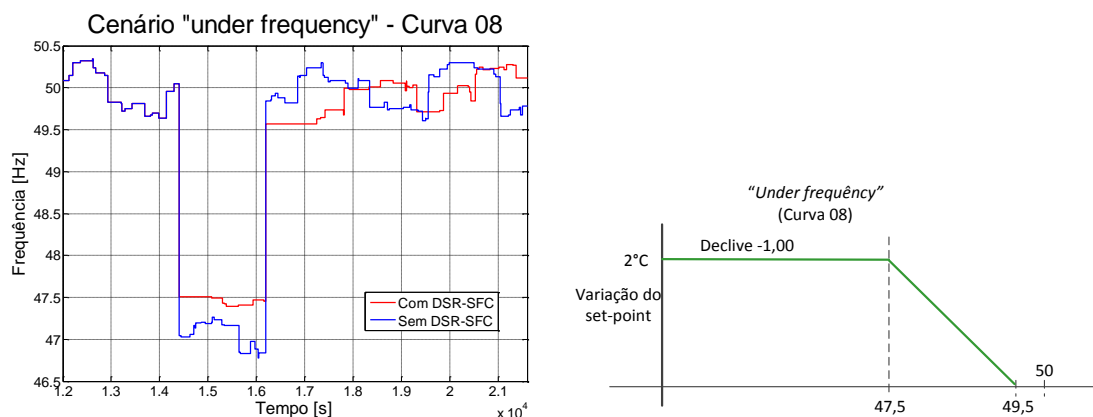


Figura 4-23 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 08

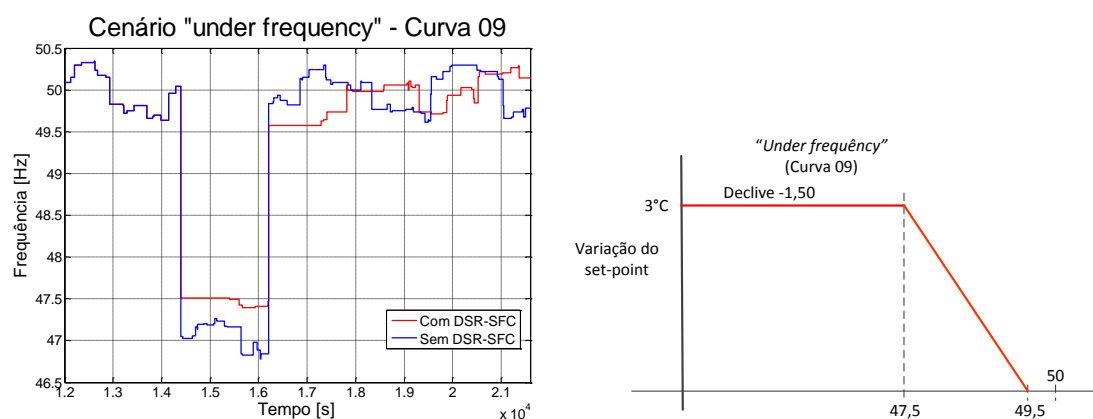


Figura 4-24 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 09

As curvas do grupo III têm um comportamento na sequência das anteriores. Os valores das oscilações da frequência do agregado com a função DSR-SFC aumentam com o declive da reta. As oscilações da curva 7 estão compreendidas entre 47,36 e 47,51 [Hz], a curva 8 entre 47,40 e 47,51 [Hz], a curva 9 apresenta valores entre 47,4 e 47,51 [Hz].

As curvas do grupo IV seguem o comportamento das anteriores. Os valores das oscilações da frequência do agregado com a função DSR-SFC vão aumentando com o declive da reta. As oscilações da curva 10 estão compreendidas entre 47,36 e 47,51 [Hz], a curva 11 entre 47,40 e 47,51 [Hz], a curva 12 apresenta valores entre 47,4 e 47,51 [Hz]. Estes valores de oscilação são idênticos aos que verificamos no grupo III.

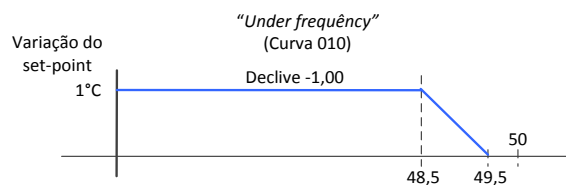
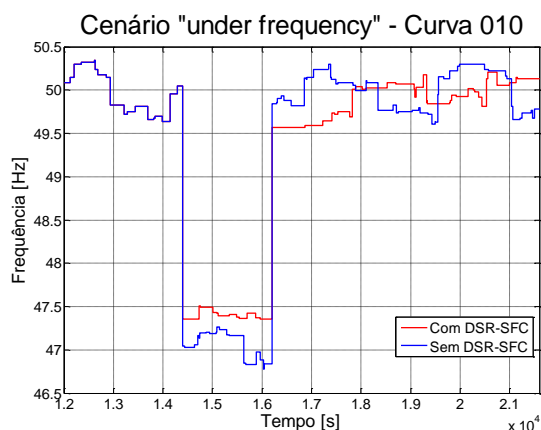


Figura 4-25 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 010

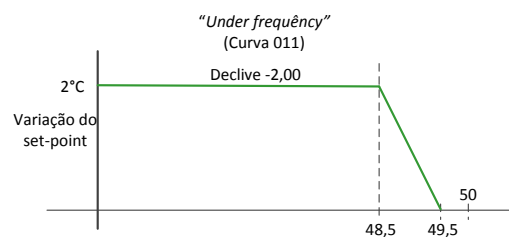
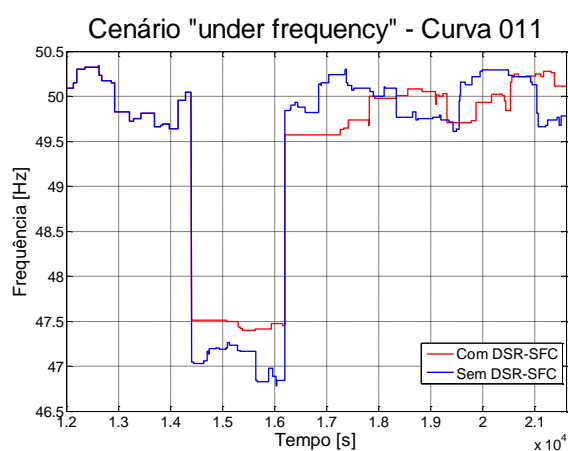


Figura 4-26 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 011

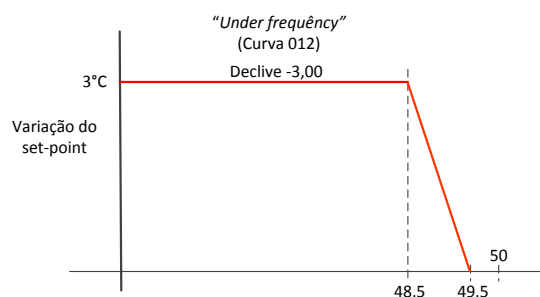
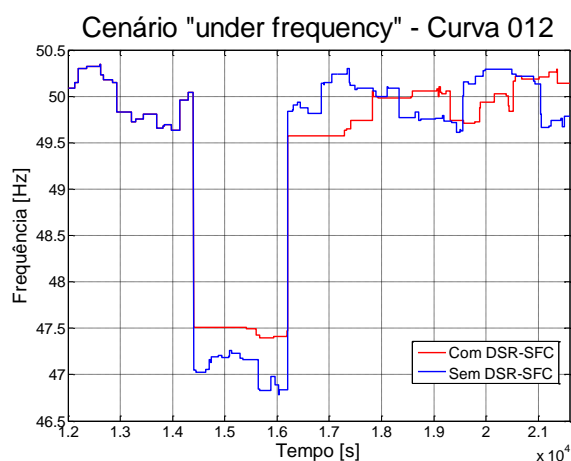


Figura 4-27 Cenário "under frequency" c/s DSR-SFC curva 012

Das curvas simuladas para este cenário existem 5 curvas que contribuem com uma ação mitigadora mais elevada para estabilidade da rede e correção do desvio da frequência nominal. Estas curvas são a 6, 8, 9, 11 e 12. Pertencem aos grupos II III e IV com intervalos de funcionamento diferentes conforme já referido

anteriormente.

Dos 3 grupos apresentados só as curvas do grupo II é que não atingem a zona de saturação da variação máxima do set-point. As curvas do grupo III e IV apresentam um funcionamento na zona de saturação. Nesta zona a variação do set-point é máxima permitida pelo Controladores DSR-SFC. As curvas 6 e 8 têm o mesmo declive -1,00 as restantes 5 têm declives superiores. A partir desta análise não podemos concluir sobre a relação entre o declive da reta, a variação máxima do set-point. No entanto para declives iguais ou superiores a -1,00 a redução da frequência é sempre máxima.

A curva com maior ação mitigadora e com um impacto menor no consumidor é a curva 11, -0,62 [Hz] e 2 [°C] de variação no set-point. Mas a curva 10 tem um impacto menor na ação mitigadora -0,58 [Hz] mas tem uma variação máxima do set-point de 1 [°C] representa -1 [°C] e -0,04 [Hz] do que a curva 11.

4.5 Conclusão

Podemos concluir que o comportamento da DSR-SFC é diferente nos dois cenários. No cenário OF distinguimos uma relação entre o intervalo de proporcionalidade da DSR-SFC e o declive da reta com a frequência. Quando menor é o intervalo de proporcionalidade e maior é o declive, mais elevada é a ação mitigadora do Controlador DSR-SFC.

O cenário UF embora não evidenciou nenhuma relação entre os diversos parâmetros podemos no entanto dizer que para os parâmetros evidenciados no cenário anterior também para este cenário, elevam a ação mitigadora do Controlador DSR-SFC. Para este cenário existem curvas com menor ação mitigadora mas mais amigáveis do consumidor.

Em ambos os casos existem acentuadas flutuações na frequência devido a variação dos set-point dos frigoríficos no período da perturbação, que repercutem na temperatura após a perturbação. Devido á alteração do set-point durante a perturbação a temperatura no interior do frigorífico tende a ficar mais alta ou mais baixa do que a inicialmente selecionada pelo utilizador. Ou seja num cenário OF a temperatura no interior do frigorífico fica mais fria relativamente a situação normal, devido a ação da DSR-SFC no set-point. Após a perturbação a temperatura do set-point passa a ser a inicialmente selecionada pelo utilizador. O que implica o desligar dos motores do compressor dando origem ao abaixamento da demanda e em consequência um aumento da frequência. Este comportamento é idêntico no cenário UF mas no sentido inverso. As frequências ficam no limite da zona de tolerância da frequência nominal. Este comportamento poderá implicar num prolongar da perturbação mas neste caso é devido ao ajuste da temperatura inicial dos frigoríficos.

Capítulo-5. Conclusões

5.1 Observações finais

No presente trabalho foi apresentado e desenvolvido um modelo de um aparelho controlado por temperatura sensível a variação de frequência. O modelo proposto no capítulo 2 foi validado por comparação com um frigorífico real.

Foi também proposto no âmbito do capítulo 3 uma revisão do atual critério de classificação energética. Esta proposta passa pela inclusão de parâmetros como a resistência térmica, a eficiência do sistema de frio (COP) ou a carga térmica constituída pelos alimentos armazenados no frigorífico. Pelo estudo de “*clustering*”, efetuado pelo método K-means, indicou uma otimização para 2 agrupamentos permite-nos concluir que existem duas classes. Estas classes são representativas de pequeno utilizador e grande utilizador em termos de usufruto da capacidade térmica do frigorífico.

Foi ainda estudado, no âmbito do capítulo a parametrização de curvas de funcionamento da função DSR-SFC a incorporar nos controladores de temperatura e que potenciam a celeridade e qualidade na resposta a solicitações de desequilíbrio da frequência. Foram identificadas parametrizações com maior potencial de benefício para os operadores de rede e as que menor impacto tem nos utilizadores, ou as que representam um compromisso entre elas.

Verificou-se que o comportamento da DSR-SFC era destinto nos dois cenários apresentados, “*over frequency*” e “*under frequency*”. O que indica que a parametrização de uma curva de funcionamento da DSR-SFC sensível aos dois cenários deverá ter declives diferentes nas duas zonas de atuação.

Constatou-se também que o intervalo de frequência que limita a reta de proporcionalidade da curva de funcionamento da funcionalidade da função DSR-SFC tem uma grande influência na resposta. A reta de proporcionalidade corresponde a zona da curva da função DSR-SFC onde existe uma relação proporcional entre a variação da frequência e a variação do set-point do termostato.

5.2 Perspetivas de trabalhos futuros

Este estudo restringe-se a uma carga que representa um terço da elegível para a implementação da função DSR-SFC nos controladores de temperatura, do setor doméstico. Devido ao modelo desenvolvido corresponder a um frigorífico com congelador.

O desenvolvimento do modelo apresentado nos capítulos 2 e 3 e os ensaios efetuados no capítulo 4 sugerem as seguintes propostas de trabalho futuro a ser efetuado:

- Melhoramento do modelo no que concerne ao comportamento térmico.
- Desenvolvimento de novos modelos representativos de um leque mais abrangente de cargas elegíveis de utilização de controladores com a funcionalidade DSR-SFC como sejam: arcas frigoríficas; frigoríficos sem congelador; frigoríficos combinados com dois compressores; ar condicionado; Camaras de frio; bancadas e expositores frigoríficos dos espaços-comerciais.
- Determinação da influência dos parâmetros identificados no capítulo 2 e 3 no desempenho das curvas de funcionamento da função DSR-SFC.
- No seguimento das conclusões do capítulo 3, o estudo de uma proposta para uma nova classificação energética que passe a considerar explicitamente elementos associados ao fabrico e ao uso diário dos aparelhos como sejam resistência térmica do isolamento, capacidade do frigorífico e COP. Estes parâmetros apresentam maior sensibilidade à classificação energética e são também os que mais dependem do consumidor na utilização quotidiana após a aquisição.

Referências Bibliográficas

- [1] Consultado em 2014: https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/resources/DCC/ENTSO-E_finalises_DCC/121221_final_Network_Code_on_Demand_Connection.pdf
- [2] ENTSO-E: <https://www.entsoe.eu/Pages/default.aspx>
- [3] Agência para a Energia, Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Instituto Português da Qualidade. “Eficiência energética em equipamentos e sistemas elétricos no sector residencial”. Edição DGGE / IP-3E
- [4] Wilbert F. Stoecker & Jerold W. Jones “Refrigeração e ar condicionado”. Edição McGraw-Hill, São Paulo, 1985
- [5] Ser Protagonista: Física, 2º ano: Ensino Médio. São Paulo: Edições SM, 2009, pp. 55
- [6] “MATLAB Curso completo” de Vagner Moraes Cláudio Viera
- [7] Manual do utilizado do equipamento FLUKE 1735 “*Power Logger*”
- [8] Diretiva da União Europeia de implementação da etiqueta energética para frigoríficos: “*Commission Directive 94/2/EC of 21 January 1994 - Implementing Council Directive 92/75/EEC with regard to energy labelling of household electric refrigerators, freezers and their combinations*”
- [9] Paper “Aplicações Práticas dos Algoritmos de Clusterização Kmeans e Bisecting K-means” de Felipe Cesar Stanzani Fonseca, Walber Antônio Ramos Beltrame - Departamento de Informática – Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) Brasil
- [10] Paper “A Simple Approach to “*clustering*” in Excel” de Aravind H e C Rajgopal e K P Soman - Departamento de Informática – Center for Computational Engineering and Networking Amrita Vishwa Vidyapeetham, Coimbatore, India
- [11] Consultado em 2014 <http://www.mathworks.com/>

- [12] Mark Norton (EirGrid), Hans Vanderbroucke (Elia), Emil Larsen (Energinet.dk), Craig Dyke (National Grid), Susana Banares (REE), Chloe Latour “Demand Side Response – ENTSO-E policy paper”, ENTSO-E, 16 de Maio 2014.
- [13] Consultado em 2014: <http://www.pordata.pt/Home>
- [14] Consultado em 2014: http://www.cm-seixal.pt/ameseixal/municipe/utilizacaoRacionalEnergia/documents/energia_sua_casa.pdf
- [15] INE/DGE “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico de 2011” INE, I.P./DGEG, Lisboa · Portugal, 2011
- [16] Embraco: <http://www.embraco.com/>
- [17] Consultado em 2014: https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/consultations/Network_Code_DCC/120229_DCC_-_CECED_presentation.pdf
- [18] Redes Energéticas Nacionais (REN): <http://www.ren.pt/>

ANEXOS

Anexo A

Um dos objetivos da dissertação consistia em explorar as potencialidades dos controladores com funcionalidade DSR-SFC aplicadas a cargas do tipo frigorífico doméstico. Nesse sentido era necessário a criação de um agregado de cargas elegíveis de utilizar este tipo de funcionalidade. A caracterização do agregado a nível nacional foi baseada em dados estatísticos e estudos publicados que caracterizam a população e os frigoríficos existentes em Portugal. Um dos trabalhos exaustivamente consultados foi o Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico de 2011 da DGE/INE do qual foi retirada a Figura 0-1 e Figura 0-2 [2]

Figura 127 - Classes de eficiência dos equipamentos - Portugal, 2010

Equipamentos	Classes de eficiência (n.º de equipamentos) ⁽¹⁾					
	A++	A+	A	B	C	D - G
Forno independente	6 974 §	41 776 §	470 727	202 749	134 426	12 551 §
Frigorífico sem Congelador	6 686 §	15 785 §	73 686	55 049	38 235	8 119 §
Frigorífico com Congelador	25 820 §	176 847	900 861	514 720	522 528	36 313 §
Frigorífico combinado	40 740 §	215 057	740 927	235 026	215 720	15 545 §
Arca congeladora	21 750 §	133 892	605 335	253 262	284 301	445 367
Máquina de lavar loiça	55 109	138 714	723 189	238 746	201 100	210 277
Máquina de lavar e secar roupa	x	13 530 §	47 447	21 207 §	19 876 §	21 377 §
Máquina de secar roupa	12 688 §	40 681	274 987	99 715	193 909	108 880
Máquina de lavar roupa	69 849	404 151	1 612 653	727 925	107 762	507 991

⁽¹⁾ O total de equipamentos por classe de eficiência não corresponde ao total de equipamentos apurados por se verificarem situações de não resposta.

Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 0-1 Levantamento dos equipamentos por classe de eficiência energética em Portugal [2]

Figura 110 - Caracterização dos Grandes electrodomésticos utilizados nos alojamentos por tipo de equipamento - Portugal, 2010

Tipo de Equipamento	N.º de alojamentos que utilizaram		N.º de equipamentos	N.º de equipamentos por alojamento
	N.º de alojamentos	% ⁽¹⁾	N.º	equip/aloj
Frigorífico sem congelador	225 707	5,7	227 339	1,0
Frigorífico com congelador	2 288 979	58,3	2 364 621	1,0
Frigorífico combinado	1 477 077	37,6	1 496 128	1,0
Arca congeladora	1 869 454	47,6	1 954 960	1,0
Máquina de lavar loiça	1 601 977	40,8	1 607 053	1,0
Máquina de lavar e secar roupa	124 420	3,2	124 420	1,0
Máquina de secar roupa	750 458	19,1	750 458	1,0
Máquina de lavar roupa	3 560 508	90,7	3 572 650	1,0


⁽¹⁾ O rácio teve por base o número total de alojamentos em Portugal (3 932 010)

Fonte: INE/DGEG - Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico (2010)

Figura 0-2 Caracterização dos grandes eletrodomésticos em Portugal [2]

Devido a simplicidade que pretendeu-se implementar no desenvolvimento do modelo era fulcral a comparação com um frigorífico real. A análise energética foi efetuado no frigorífico com as características apresentadas na Figura 0-3.

SIEMENS



KD42VX10
Frigorífico de 2 portas

INFORMAÇÃO GERAL

- Porta alta - portas Branco
- Pés frontais ajustáveis em altura e rodas traseiras

FRIGORÍFICO

- powerVentilation System - refrigeração dinâmica
- Descongelamento automático
- 2 prateleira de grelha, ajustável em altura
- Suporte para garrafas rebatível
- Compartimento para manteiga/queijo
- Iluminação interior (1x25W)

CONGELADOR

- 1 Cuvete

INFORMAÇÃO TÉCNICA

- Classe de eficiência energética: A; Consumo de energia anual: 407 kWh/ano
- Capacidade bruta/útil total: 422/414 litros
- Capacidade útil do frigorífico: 282 litros
- Capacidade útil do congelador: 132 litros
- Capacidade de congelamento: 6 kg em 24 h
- Cap. autonomia em caso de anomalia: 26 horas
- Sentido de abertura da porta à direita, reversível
- Classe climática: SN-ST
- Medidas AxAxP (cm): 185 x 70 x 65

Acessórios incluídos

Acessórios opcionais

Cores disponíveis

Características

Tipo de construção : Solo

Número de compressores : 1

N.º de circuitos de frio independentes : 1

Largura do produto sem pegás desmontado em mm. : 700

Altura (mm) : 1850

Profundidade (mm) : 650

Peso líquido : 74.000

Opções do painel da porta : Impossível

De que lado está montada a porta? : A

direita, Permutável

Número de prateleiras ajustáveis no compartimento de refrigeração : 4

Prateleiras para garrafas : Sim

Sistema de descongelamento : Não

Ventilador interior da secção do frigorífico : Sim

Sentido de abertura da porta reversível : Sim

Comprimento do cabo de alimentação eléctrica : 200.00

Nível de ruído (dB(A) re 1 pW) : 43

: Não

Super refrigeração : Não

Super congelamento : Não

: Não

: Não

: 1

: Não

: Não

: Sim

: 3

: Não

Material das prateleiras : Vidro

Alarme de porta de congelador aberta : Não

Dispensador automático de gelo : Não

Características de consumo e ligação

Classificação da ligação (W) : 170

Corrente (A) : 10

Voltagem (V) : 220-240

Frequência (Hz) : 50

Autonomia em caso de falha de energia (h) : 26

Certificados de aprovação : VDE

Cor principal do produto : Branco

Opções do painel da porta : Impossível

Nível de ruído (dB(A) re 1 pW) : 43

Siemens
KD42VX10
Frigorífico Solo

Anterior:
Seguinte:

Código EAN:
4242003383148

programa de vendas:

Figura 0-3 Características do modelo real (Frigorífico Siemens KD42VX10)

Anexo B

A listagem apresentada em seguida ilustra o estudo exaustivo da classificação energética apresentada no capítulo 3. Foram efetuadas 1565 simulações com o intuito de aferirmos o consumo energético anual para cada parâmetro de entrada: COP, Rt, CTF. O valor de COP variou de 1,5 a 4 em passos de 0,25. A resistência térmica (Rt) variou de 0,1 a 1,2 em passos de 0,1 [°C/kcal]. A Carga térmica do frigorífico variou entre 3 e 12 em passos de 1 [Cal/°C]. As cores permitem identificar as diversas classificações obtidas para cada uma das combinações de parâmetros. Está dividida em duas colunas, uma com os dados originais e ordenado por ordem do número de simulação e a outra coluna ordenado por ordem crescente da energia consumida num ano.

Tabela 0-1 Dados da simulação para o estudo da eficiência energética

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1	0,1	3	823,44	1	115,28 €	-1,4586	1,5	1,2	3	243,9969	Máximo:
1	0,1	4	823,44	2	115,2816	-1,2429	1,75	1,1	3	222,1042	248,8783
1	0,1	5	823,44	3	115,2816	-1,0272	1,75	1,1	4	221,8974	Mínimo:
1	0,1	6	823,44	4	115,2816	-0,8116	1,75	1,1	5	225,3318	75,3750
1	0,1	7	823,44	5	115,2816	-0,5959	1,75	1,1	6	228,7408	Classe A++
1	0,1	8	823,44	6	115,2816	-0,3802	1,75	1,1	7	242,5687	
1	0,1	9	823,44	7	115,2816	-0,1645	1,75	1,1	10	242,1713	
1	0,1	10	823,44	8	115,2816	0,0512	1,75	1,1	12	248,8783	
1	0,1	11	823,44	9	115,2816	0,2669	1,75	1,2	3	200,3606	
1	0,1	12	823,44	10	115,2816	0,4826	1,75	1,2	4	208,1150	
1	0,2	3	823,44	11	115,2816	-1,2826	1,75	1,2	5	211,4016	
1	0,2	4	823,44	12	115,2816	-1,0929	1,75	1,2	6	214,6068	
1	0,2	5	823,44	13	115,2816	-0,9033	1,75	1,2	7	209,5742	
1	0,2	6	823,44	14	115,2816	-0,7136	1,75	1,2	8	209,4157	
1	0,2	7	823,44	15	115,2816	-0,5240	1,75	1,2	9	231,2225	
1	0,2	8	823,44	16	115,2816	-0,3343	1,75	1,2	10	227,2959	
1	0,2	9	823,44	17	115,2816	-0,1446	1,75	1,2	11	220,0806	
1	0,2	10	823,44	18	115,2816	0,0450	1,75	1,2	12	233,6456	
1	0,2	11	823,44	19	115,2816	0,2347	2	0,9	3	240,6404	
1	0,2	12	823,44	20	115,2816	0,4243	2	0,9	4	244,0082	
1	0,3	3	823,44	21	115,2816	-1,1445	2	0,9	5	248,5277	
1	0,3	4	823,44	22	115,2816	-0,9752	2	0,9	7	248,0088	
1	0,3	5	823,44	23	115,2816	-0,8060	2	1	3	211,9072	
1	0,3	6	823,44	24	115,2816	-0,6368	2	1	4	212,0818	
1	0,3	7	823,44	25	115,2816	-0,4675	2	1	5	220,9828	
1	0,3	8	823,44	26	115,2816	-0,2983	2	1	6	220,9079	
1	0,3	9	823,44	27	115,2816	-0,1291	2	1	7	226,8184	
1	0,3	10	823,44	28	115,2816	0,0402	2	1	8	235,5946	
1	0,3	11	823,44	29	115,2816	0,2094	2	1	9	238,4633	
1	0,3	12	823,44	30	115,2816	0,3786	2	1	10	235,4030	
1	0,4	3	823,44	31	115,2816	-1,0332	2	1	11	226,4102	
1	0,4	4	823,44	32	115,2816	-0,8804	2	1	12	247,0541	
1	0,4	5	823,44	33	115,2816	-0,7276	2	1,1	3	190,2290	
1	0,4	6	823,44	34	115,2816	-0,5749	2	1,1	4	187,6285	
1	0,4	7	823,44	35	115,2816	-0,4221	2	1,1	5	193,1906	
1	0,4	8	823,44	36	115,2816	-0,2693	2	1,1	6	198,7090	
1	0,4	9	823,44	37	115,2816	-0,1165	2	1,1	7	193,1324	
1	0,4	10	823,44	38	115,2816	0,0363	2	1,1	8	198,6394	
1	0,4	11	823,44	39	115,2816	0,1890	2	1,1	9	198,5478	
1	0,4	12	823,44	40	115,2816	0,3418	2	1,1	10	220,3025	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1	0,5	3	823,44	41	115,2816	-0,9416	2	1,1	11	212,2439	
1	0,5	4	823,44	42	115,2816	-0,8024	2	1,1	12	220,1337	
1	0,5	5	823,44	43	115,2816	-0,6632	2	1,2	3	168,1776	
1	0,5	6	823,44	44	115,2816	-0,5239	2	1,2	4	167,7180	
1	0,5	7	823,44	45	115,2816	-0,3847	2	1,2	5	170,4000	
1	0,5	8	823,44	46	115,2816	-0,2454	2	1,2	6	173,0355	
1	0,5	9	823,44	47	115,2816	-0,1062	2	1,2	7	183,5364	
1	0,5	10	823,44	48	115,2816	0,0330	2	1,2	8	188,7415	
1	0,5	11	823,44	49	115,2816	0,1723	2	1,2	9	188,6876	
1	0,5	12	823,44	50	115,2816	0,3115	2	1,2	10	183,3613	
1	0,6	3	823,44	51	115,2816	-0,8650	2	1,2	11	201,7251	
1	0,6	4	823,44	52	115,2816	-0,7371	2	1,2	12	188,4867	
1	0,6	5	823,44	53	115,2816	-0,6092	2,25	0,8	3	239,4875	
1	0,6	6	823,44	54	115,2816	-0,4813	2,25	0,8	4	240,1559	
1	0,6	7	823,44	55	115,2816	-0,3534	2,25	0,8	5	242,5798	
1	0,6	8	823,44	56	115,2816	-0,2255	2,25	0,9	3	209,3592	
1	0,6	9	823,44	57	115,2816	-0,0976	2,25	0,9	4	207,5088	
1	0,6	10	823,44	58	115,2816	0,0304	2,25	0,9	5	207,8331	
1	0,6	11	823,44	59	115,2816	0,1583	2,25	0,9	6	218,0187	
1	0,6	12	823,44	60	115,2816	0,2862	2,25	0,9	7	217,9522	
1	0,7	3	823,44	61	115,2816	-0,7999	2,25	0,9	8	228,3236	
1	0,7	4	823,44	62	115,2816	-0,6816	2,25	0,9	9	231,4772	
1	0,7	5	823,44	63	115,2816	-0,5633	2,25	0,9	10	233,4191	
1	0,7	6	823,44	64	115,2816	-0,4450	2,25	0,9	11	228,0941	
1	0,7	7	823,44	65	115,2816	-0,3268	2,25	0,9	12	231,1698	
1	0,7	8	823,44	66	115,2816	-0,2085	2,25	1	3	181,1307	
1	0,7	9	823,44	67	115,2816	-0,0902	2,25	1	4	183,7377	
1	0,7	10	823,44	68	115,2816	0,0281	2,25	1	5	185,1272	
1	0,7	11	823,44	69	115,2816	0,1464	2,25	1	6	188,7170	
1	0,7	12	823,44	70	115,2816	0,2646	2,25	1	7	186,2812	
1	0,8	3	823,44	71	115,2816	-0,7439	2,25	1	8	193,5043	
1	0,8	4	823,44	72	115,2816	-0,6339	2,25	1	9	195,8854	
1	0,8	5	823,44	73	115,2816	-0,5239	2,25	1	10	193,4231	
1	0,8	6	823,44	74	115,2816	-0,4139	2,25	1	11	212,7712	
1	0,8	7	823,44	75	115,2816	-0,3039	2,25	1	12	203,0652	
1	0,8	8	823,44	76	115,2816	-0,1939	2,25	1,1	3	163,2326	
1	0,8	9	823,44	77	115,2816	-0,0839	2,25	1,1	4	164,9258	
1	0,8	10	823,44	78	115,2816	0,0261	2,25	1,1	5	171,5208	
1	0,8	11	823,44	79	115,2816	0,1361	2,25	1,1	6	165,0206	
1	0,8	12	823,44	80	115,2816	0,2461	2,25	1,1	7	176,5140	
1	0,9	3	774,0495	81	108,36693	-0,5487	2,25	1,1	8	180,5977	
1	0,9	4	757,5595	82	106,05833	-0,3970	2,25	1,1	9	185,7060	
1	0,9	5	782,2549	83	109,51568	-0,3674	2,25	1,1	10	183,3247	
1	0,9	6	774,012	84	108,36168	-0,2402	2,25	1,1	11	176,3676	
1	0,9	7	765,7665	85	107,2073	-0,1129	2,25	1,1	12	192,4531	
1	0,9	8	823,44	86	115,2816	-0,1812	2,25	1,2	3	144,6436	
1	0,9	9	823,44	87	115,2816	-0,0784	2,25	1,2	4	149,2126	
1	0,9	10	823,44	88	115,2816	0,0244	2,25	1,2	5	153,7093	
1	0,9	11	823,44	89	115,2816	0,1272	2,25	1,2	6	158,1525	
1	0,9	12	823,44	90	115,2816	0,2300	2,25	1,2	7	153,7453	
1	1	3	613,2646	91	85,857044	-0,0673	2,25	1,2	8	158,1388	
1	1	4	630,3752	92	88,252528	-0,0185	2,25	1,2	9	158,0975	
1	1	5	640,3567	93	89,649938	0,0502	2,25	1,2	10	165,6944	
1	1	6	658,6357	94	92,208999	0,0958	2,25	1,2	11	169,0474	
1	1	7	631,1474	95	88,360629	0,2689	2,25	1,2	12	165,4729	
1	1	8	676,9121	96	94,767693	0,2379	2,5	0,8	3	211,7165	
1	1	9	658,5853	97	92,201936	0,3855	2,5	0,8	4	211,4309	
1	1	10	640,2981	98	89,641733	0,5329	2,5	0,8	5	212,0887	
1	1	11	701,4652	99	98,205128	0,4590	2,5	0,8	6	212,0907	
1	1	12	713,5791	100	99,90107	0,5218	2,5	0,8	7	214,4609	
1	1,1	3	521,7905	101	73,050671	0,1766	2,5	0,8	8	226,2391	
1	1,1	4	536,3524	102	75,08933	0,2293	2,5	0,8	9	231,5948	
1	1,1	5	521,5438	103	73,016128	0,3590	2,5	0,8	10	235,6325	
1	1,1	6	530,8377	104	74,317271	0,4256	2,5	0,8	11	233,1553	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1	1,1	7	541,5853	105	75,821943	0,4883	2,5	0,8	12	225,9730	
1	1,1	8	581,8213	106	81,454981	0,4736	2,5	0,9	3	182,4840	
1	1,1	9	551,5913	107	77,222788	0,6438	2,5	0,9	4	182,7174	
1	1,1	10	580,3165	108	81,244306	0,6594	2,5	0,9	5	185,0097	
1	1,1	11	601,905	109	84,266703	0,6937	2,5	0,9	6	183,1205	
1	1,1	12	581,781	110	81,449339	0,8374	2,5	0,9	7	191,0034	
1	1,2	3	454,1028	111	63,574389	0,3348	2,5	0,9	8	191,5890	
1	1,2	4	464,426	112	65,019639	0,3951	2,5	0,9	9	195,9256	
1	1,2	5	462,8996	113	64,805945	0,4848	2,5	0,9	10	195,9064	
1	1,2	6	484,8921	114	67,884887	0,5162	2,5	0,9	11	191,4624	
1	1,2	7	483,2838	115	67,659735	0,6062	2,5	0,9	12	208,8982	
1	1,2	8	472,0805	116	66,091269	0,7199	2,5	1	3	159,6796	
1	1,2	9	515,38	117	72,153204	0,6984	2,5	1	4	163,9966	
1	1,2	10	493,9885	118	69,158387	0,8374	2,5	1	5	164,1254	
1	1,2	11	500,4056	119	70,05678	0,9074	2,5	1	6	166,7670	
1	1,2	12	545,8533	120	76,419459	0,8807	2,5	1	7	172,4106	
1,25	0,1	3	823,44	121	115,2816	-1,1998	2,5	1	8	166,1700	
1,25	0,1	4	823,44	122	115,2816	-1,0224	2,5	1	9	166,2133	
1,25	0,1	5	823,44	123	115,2816	-0,8450	2,5	1	10	184,0753	
1,25	0,1	6	823,44	124	115,2816	-0,6676	2,5	1	11	180,5930	
1,25	0,1	7	823,44	125	115,2816	-0,4902	2,5	1	12	172,2652	
1,25	0,1	8	823,44	126	115,2816	-0,3127	2,5	1,1	3	140,7328	
1,25	0,1	9	823,44	127	115,2816	-0,1353	2,5	1,1	4	142,5770	
1,25	0,1	10	823,44	128	115,2816	0,0421	2,5	1,1	5	146,9345	
1,25	0,1	11	823,44	129	115,2816	0,2195	2,5	1,1	6	152,8804	
1,25	0,1	12	823,44	130	115,2816	0,3969	2,5	1,1	7	150,9256	
1,25	0,2	3	823,44	131	115,2816	-1,0781	2,5	1,1	8	156,8241	
1,25	0,2	4	823,44	132	115,2816	-0,9187	2,5	1,1	9	158,7972	
1,25	0,2	5	823,44	133	115,2816	-0,7593	2,5	1,1	10	156,7930	
1,25	0,2	6	823,44	134	115,2816	-0,5998	2,5	1,1	11	160,2332	
1,25	0,2	7	823,44	135	115,2816	-0,4404	2,5	1,1	12	164,6020	
1,25	0,2	8	823,44	136	115,2816	-0,2810	2,5	1,2	3	129,9862	
1,25	0,2	9	823,44	137	115,2816	-0,1216	2,5	1,2	4	128,3162	
1,25	0,2	10	823,44	138	115,2816	0,0378	2,5	1,2	5	132,1755	
1,25	0,2	11	823,44	139	115,2816	0,1973	2,5	1,2	6	136,0437	
1,25	0,2	12	823,44	140	115,2816	0,3567	2,5	1,2	7	133,6752	
1,25	0,3	3	823,44	141	115,2816	-0,9788	2,5	1,2	8	136,0536	
1,25	0,3	4	823,44	142	115,2816	-0,8341	2,5	1,2	9	136,0310	
1,25	0,3	5	823,44	143	115,2816	-0,6893	2,5	1,2	10	151,2032	
1,25	0,3	6	823,44	144	115,2816	-0,5446	2,5	1,2	11	145,4912	
1,25	0,3	7	823,44	145	115,2816	-0,3999	2,5	1,2	12	158,7167	
1,25	0,3	8	823,44	146	115,2816	-0,2551	2,75	0,7	3	217,9063	
1,25	0,3	9	823,44	147	115,2816	-0,1104	2,75	0,7	4	220,4234	
1,25	0,3	10	823,44	148	115,2816	0,0343	2,75	0,7	5	220,5715	
1,25	0,3	11	823,44	149	115,2816	0,1791	2,75	0,7	6	225,0398	
1,25	0,3	12	823,44	150	115,2816	0,3238	2,75	0,7	7	231,6889	
1,25	0,4	3	823,44	151	115,2816	-0,8963	2,75	0,7	8	229,4560	
1,25	0,4	4	823,44	152	115,2816	-0,7637	2,75	0,7	9	238,2575	
1,25	0,4	5	823,44	153	115,2816	-0,6312	2,75	0,7	10	242,6749	
1,25	0,4	6	823,44	154	115,2816	-0,4987	2,75	0,7	11	242,5678	
1,25	0,4	7	823,44	155	115,2816	-0,3661	2,75	0,7	12	238,0608	
1,25	0,4	8	823,44	156	115,2816	-0,2336	2,75	0,8	3	186,1617	
1,25	0,4	9	823,44	157	115,2816	-0,1011	2,75	0,8	4	184,4064	
1,25	0,4	10	823,44	158	115,2816	0,0315	2,75	0,8	5	190,5809	
1,25	0,4	11	823,44	159	115,2816	0,1640	2,75	0,8	6	192,6495	
1,25	0,4	12	823,44	160	115,2816	0,2965	2,75	0,8	7	196,6981	
1,25	0,5	3	823,44	161	115,2816	-0,8265	2,75	0,8	8	192,6852	
1,25	0,5	4	823,44	162	115,2816	-0,7043	2,75	0,8	9	198,7363	
1,25	0,5	5	823,44	163	115,2816	-0,5821	2,75	0,8	10	200,6736	
1,25	0,5	6	823,44	164	115,2816	-0,4599	2,75	0,8	11	198,6535	
1,25	0,5	7	823,44	165	115,2816	-0,3377	2,75	0,8	12	209,4893	
1,25	0,5	8	823,44	166	115,2816	-0,2154	2,75	0,9	3	161,4682	
1,25	0,5	9	823,44	167	115,2816	-0,0932	2,75	0,9	4	164,8225	
1,25	0,5	10	823,44	168	115,2816	0,0290	2,75	0,9	5	167,5328	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1,25	0,5	11	823,44	169	115,2816	0,1512	2,75	0,9	6	168,7594	
1,25	0,5	12	823,44	170	115,2816	0,2735	2,75	0,9	7	170,6833	
1,25	0,6	3	823,44	171	115,2816	-0,7669	2,75	0,9	8	166,3424	
1,25	0,6	4	823,44	172	115,2816	-0,6535	2,75	0,9	9	168,8093	
1,25	0,6	5	823,44	173	115,2816	-0,5401	2,75	0,9	10	168,7924	
1,25	0,6	6	823,44	174	115,2816	-0,4267	2,75	0,9	11	185,7091	
1,25	0,6	7	823,44	175	115,2816	-0,3133	2,75	0,9	12	179,9886	
1,25	0,6	8	823,44	176	115,2816	-0,1999	2,75	1	3	142,5415	
1,25	0,6	9	823,44	177	115,2816	-0,0865	2,75	1	4	142,3046	
1,25	0,6	10	823,44	178	115,2816	0,0269	2,75	1	5	142,4356	
1,25	0,6	11	823,44	179	115,2816	0,1403	2,75	1	6	149,6530	
1,25	0,6	12	823,44	180	115,2816	0,2537	2,75	1	7	149,6663	
1,25	0,7	3	823,44	181	115,2816	-0,7153	2,75	1	8	156,8391	
1,25	0,7	4	823,44	182	115,2816	-0,6095	2,75	1	9	160,3975	
1,25	0,7	5	823,44	183	115,2816	-0,5037	2,75	1	10	160,3875	
1,25	0,7	6	823,44	184	115,2816	-0,3980	2,75	1	11	156,7956	
1,25	0,7	7	823,44	185	115,2816	-0,2922	2,75	1	12	165,7237	
1,25	0,7	8	823,44	186	115,2816	-0,1864	2,75	1,1	3	127,9505	
1,25	0,7	9	823,44	187	115,2816	-0,0807	2,75	1,1	4	129,8830	
1,25	0,7	10	823,44	188	115,2816	0,0251	2,75	1,1	5	128,2881	
1,25	0,7	11	823,44	189	115,2816	0,1309	2,75	1,1	6	133,4969	
1,25	0,7	12	823,44	190	115,2816	0,2366	2,75	1,1	7	131,8169	
1,25	0,8	3	603,9925	191	84,558954	-0,0426	2,75	1,1	8	136,9680	
1,25	0,8	4	618,4923	192	86,588921	0,0150	2,75	1,1	9	138,6872	
1,25	0,8	5	630,3583	193	88,250161	0,0802	2,75	1,1	10	136,9623	
1,25	0,8	6	643,9474	194	90,15264	0,1404	2,75	1,1	11	150,7125	
1,25	0,8	7	619,9272	195	86,789811	0,3082	2,75	1,1	12	143,8194	
1,25	0,8	8	647,6388	196	90,669426	0,3281	2,75	1,2	3	113,9690	
1,25	0,8	9	628,1414	197	87,939795	0,4829	2,75	1,2	4	119,1505	
1,25	0,8	10	676,9128	198	94,767796	0,4426	2,75	1,2	5	115,9516	
1,25	0,8	11	662,2491	199	92,714868	0,5836	2,75	1,2	6	119,3273	
1,25	0,8	12	647,6085	200	90,665191	0,7246	2,75	1,2	7	127,6559	
1,25	0,9	3	501,9831	201	70,27764	0,2343	2,75	1,2	8	122,6870	
1,25	0,9	4	494,3384	202	69,207377	0,3481	2,75	1,2	9	133,3793	
1,25	0,9	5	498,4999	203	69,789987	0,4302	2,75	1,2	10	132,6583	
1,25	0,9	6	527,0842	204	73,791792	0,4465	2,75	1,2	11	127,6594	
1,25	0,9	7	535,2681	205	74,937533	0,5177	2,75	1,2	12	139,3067	
1,25	0,9	8	526,7317	206	73,742439	0,6339	3	0,6	3	236,9900	
1,25	0,9	9	526,9595	207	73,774323	0,7265	3	0,6	4	239,4771	
1,25	0,9	10	545,4618	208	76,364653	0,7699	3	0,6	5	246,1268	
1,25	0,9	11	551,6215	209	77,227007	0,8466	3	0,6	6	243,9969	
1,25	0,9	12	526,8898	210	73,764568	1,0063	3	0,6	7	248,6581	
1,25	1	3	412,4777	211	57,746878	0,4485	3	0,7	3	194,3627	
1,25	1	4	421,3486	212	58,988804	0,5140	3	0,7	4	196,9745	
1,25	1	5	423,202	213	59,248277	0,5973	3	0,7	5	199,0514	
1,25	1	6	439,3755	214	61,512576	0,6442	3	0,7	6	204,8402	
1,25	1	7	439,3166	215	61,50433	0,7324	3	0,7	7	199,1649	
1,25	1	8	457,5643	216	64,058995	0,7740	3	0,7	8	210,2246	
1,25	1	9	453,4629	217	63,484806	0,8724	3	0,7	9	204,8514	
1,25	1	10	457,4836	218	64,047705	0,9502	3	0,7	10	208,6322	
1,25	1	11	459,9438	219	64,392138	1,0320	3	0,7	11	208,5930	
1,25	1	12	494,0273	220	69,163819	1,0334	3	0,7	12	209,5785	
1,25	1,1	3	362,8321	221	50,7965	0,5441	3	0,8	3	167,1721	
1,25	1,1	4	369,5539	222	51,737543	0,6113	3	0,8	4	167,4861	
1,25	1,1	5	371,0033	223	51,940459	0,6911	3	0,8	5	167,7968	
1,25	1,1	6	382,6864	224	53,576089	0,7464	3	0,8	6	167,7180	
1,25	1,1	7	396,3833	225	55,493659	0,7968	3	0,8	7	171,2525	
1,25	1,1	8	395,7302	226	55,402225	0,8817	3	0,8	8	181,1081	
1,25	1,1	9	380,7246	227	53,301444	1,0011	3	0,8	9	173,0204	
1,25	1,1	10	420,9455	228	58,932374	0,9877	3	0,8	10	174,7598	
1,25	1,1	11	386,5269	229	54,113765	1,1538	3	0,8	11	180,5359	
1,25	1,1	12	421,6877	230	59,036278	1,1526	3	0,8	12	188,7415	
1,25	1,2	3	319,4388	231	44,721426	0,6158	3	0,9	3	142,7441	
1,25	1,2	4	325,4651	232	45,56511	0,6812	3	0,9	4	144,6309	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1,25	1,2	5	329,9675	233	46,195451	0,7500	3	0,9	5	148,0876	
1,25	1,2	6	337,3364	234	47,22709	0,8124	3	0,9	6	148,1675	
1,25	1,2	7	349,4407	235	48,921704	0,8638	3	0,9	7	149,8729	
1,25	1,2	8	348,9824	236	48,857542	0,9440	3	0,9	8	158,1652	
1,25	1,2	9	335,8916	237	47,024824	1,0531	3	0,9	9	158,1168	
1,25	1,2	10	373,2483	238	52,254762	1,0469	3	0,9	10	164,7540	
1,25	1,2	11	341,2225	239	47,771143	1,1992	3	0,9	11	163,0745	
1,25	1,2	12	372,2631	240	52,116838	1,2074	3	0,9	12	158,1001	
1,5	0,1	3	823,44	241	115,2816	-1,0190	3	1	3	126,9981	
1,5	0,1	4	823,44	242	115,2816	-0,8683	3	1	4	131,9539	
1,5	0,1	5	823,44	243	115,2816	-0,7177	3	1	5	133,6846	
1,5	0,1	6	823,44	244	115,2816	-0,5670	3	1	6	132,1846	
1,5	0,1	7	823,44	245	115,2816	-0,4163	3	1	7	132,2314	
1,5	0,1	8	823,44	246	115,2816	-0,2656	3	1	8	138,5554	
1,5	0,1	9	823,44	247	115,2816	-0,1149	3	1	9	141,7213	
1,5	0,1	10	823,44	248	115,2816	0,0358	3	1	10	141,7221	
1,5	0,1	11	823,44	249	115,2816	0,1864	3	1	11	138,5725	
1,5	0,1	12	823,44	250	115,2816	0,3371	3	1	12	151,1980	
1,5	0,2	3	823,44	251	115,2816	-0,9299	3	1,1	3	113,4749	
1,5	0,2	4	823,44	252	115,2816	-0,7924	3	1,1	4	115,2181	
1,5	0,2	5	823,44	253	115,2816	-0,6549	3	1,1	5	121,4550	
1,5	0,2	6	823,44	254	115,2816	-0,5174	3	1,1	6	118,4778	
1,5	0,2	7	823,44	255	115,2816	-0,3799	3	1,1	7	121,4135	
1,5	0,2	8	823,44	256	115,2816	-0,2424	3	1,1	8	121,5723	
1,5	0,2	9	823,44	257	115,2816	-0,1049	3	1,1	9	123,1067	
1,5	0,2	10	823,44	258	115,2816	0,0326	3	1,1	10	121,5815	
1,5	0,2	11	823,44	259	115,2816	0,1701	3	1,1	11	133,7665	
1,5	0,2	12	823,44	260	115,2816	0,3076	3	1,1	12	127,6597	
1,5	0,3	3	823,44	261	115,2816	-0,8551	3	1,2	3	105,2955	
1,5	0,3	4	823,44	262	115,2816	-0,7286	3	1,2	4	106,0780	
1,5	0,3	5	823,44	263	115,2816	-0,6022	3	1,2	5	110,6318	
1,5	0,3	6	823,44	264	115,2816	-0,4757	3	1,2	6	106,3096	
1,5	0,3	7	823,44	265	115,2816	-0,3493	3	1,2	7	113,7181	
1,5	0,3	8	823,44	266	115,2816	-0,2229	3	1,2	8	118,1762	
1,5	0,3	9	823,44	267	115,2816	-0,0964	3	1,2	9	119,6721	
1,5	0,3	10	823,44	268	115,2816	0,0300	3	1,2	10	118,1783	
1,5	0,3	11	823,44	269	115,2816	0,1564	3	1,2	11	113,7603	
1,5	0,3	12	823,44	270	115,2816	0,2829	3	1,2	12	124,0900	
1,5	0,4	3	823,44	271	115,2816	-0,7914	3,25	0,6	3	215,4822	
1,5	0,4	4	823,44	272	115,2816	-0,6744	3,25	0,6	4	214,0200	
1,5	0,4	5	823,44	273	115,2816	-0,5573	3,25	0,6	5	221,6133	
1,5	0,4	6	823,44	274	115,2816	-0,4403	3,25	0,6	6	221,7220	
1,5	0,4	7	823,44	275	115,2816	-0,3233	3,25	0,6	7	219,9076	
1,5	0,4	8	823,44	276	115,2816	-0,2063	3,25	0,6	8	221,7886	
1,5	0,4	9	823,44	277	115,2816	-0,0892	3,25	0,6	9	231,9823	
1,5	0,4	10	823,44	278	115,2816	0,0278	3,25	0,6	10	221,7545	
1,5	0,4	11	823,44	279	115,2816	0,1448	3,25	0,6	11	223,5370	
1,5	0,4	12	823,44	280	115,2816	0,2618	3,25	0,6	12	231,5456	
1,5	0,5	3	823,44	281	115,2816	-0,7365	3,25	0,7	3	175,8976	
1,5	0,5	4	823,44	282	115,2816	-0,6276	3,25	0,7	4	179,3172	
1,5	0,5	5	823,44	283	115,2816	-0,5187	3,25	0,7	5	182,8103	
1,5	0,5	6	823,44	284	115,2816	-0,4098	3,25	0,7	6	179,5892	
1,5	0,5	7	823,44	285	115,2816	-0,3009	3,25	0,7	7	186,3223	
1,5	0,5	8	823,44	286	115,2816	-0,1920	3,25	0,7	8	186,3314	
1,5	0,5	9	823,44	287	115,2816	-0,0831	3,25	0,7	9	191,0338	
1,5	0,5	10	823,44	288	115,2816	0,0258	3,25	0,7	10	184,4521	
1,5	0,5	11	823,44	289	115,2816	0,1348	3,25	0,7	11	190,6811	
1,5	0,5	12	823,44	290	115,2816	0,2437	3,25	0,7	12	199,6315	
1,5	0,6	3	757,6338	291	106,06874	-0,4954	3,25	0,8	3	148,9218	
1,5	0,6	4	757,594	292	106,06316	-0,3934	3,25	0,8	4	154,4150	
1,5	0,6	5	768,5483	293	107,59677	-0,3237	3,25	0,8	5	154,5833	
1,5	0,6	6	757,5535	294	106,0575	-0,1896	3,25	0,8	6	157,7913	
1,5	0,6	7	784,9999	295	109,89999	-0,1684	3,25	0,8	7	159,7876	
1,5	0,6	8	779,5028	296	109,13039	-0,0504	3,25	0,8	8	160,9838	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1,5	0,6	9	774,0135	297	108,36189	0,0676	3,25	0,8	9	166,4775	
1,5	0,6	10	768,5166	298	107,59232	0,1856	3,25	0,8	10	166,2664	
1,5	0,6	11	783,7252	299	109,72153	0,2428	3,25	0,8	11	170,2832	
1,5	0,6	12	823,44	300	115,2816	0,2279	3,25	0,8	12	167,1814	
1,5	0,7	3	554,8875	301	77,684243	0,0944	3,25	0,9	3	131,5019	
1,5	0,7	4	567,4702	302	79,445832	0,1553	3,25	0,9	4	134,7192	
1,5	0,7	5	567,3697	303	79,431761	0,2513	3,25	0,9	5	131,9662	
1,5	0,7	6	567,9654	304	79,51516	0,3453	3,25	0,9	6	134,8248	
1,5	0,7	7	577,4893	305	80,848508	0,4146	3,25	0,9	7	134,3248	
1,5	0,7	8	567,2188	306	79,410632	0,5386	3,25	0,9	8	140,9530	
1,5	0,7	9	592,8068	307	82,992956	0,5637	3,25	0,9	9	145,3746	
1,5	0,7	10	581,5676	308	81,419468	0,6903	3,25	0,9	10	146,8662	
1,5	0,7	11	611,9902	309	85,678628	0,7020	3,25	0,9	11	145,3778	
1,5	0,7	12	592,7444	310	82,984213	0,8508	3,25	0,9	12	140,9502	
1,5	0,8	3	443,5141	311	62,091977	0,3788	3,25	1	3	116,6108	
1,5	0,8	4	443,3956	312	62,075388	0,4693	3,25	1	4	118,1498	
1,5	0,8	5	457,8448	313	64,098276	0,5218	3,25	1	5	119,7052	
1,5	0,8	6	464,4285	314	65,019991	0,5949	3,25	1	6	118,3950	
1,5	0,8	7	464,9743	315	65,096402	0,6836	3,25	1	7	121,6340	
1,5	0,8	8	472,2281	316	66,11194	0,7549	3,25	1	8	124,1172	
1,5	0,8	9	484,8922	317	67,884908	0,8121	3,25	1	9	126,9535	
1,5	0,8	10	460,2564	318	64,435902	0,9664	3,25	1	10	126,9615	
1,5	0,8	11	501,3881	319	70,194337	0,9495	3,25	1	11	124,1318	
1,5	0,8	12	472,0778	320	66,090895	1,1159	3,25	1	12	135,4261	
1,5	0,9	3	366,8975	321	51,365653	0,5468	3,25	1,1	3	105,8564	
1,5	0,9	4	366,5981	322	51,323731	0,6328	3,25	1,1	4	104,0114	
1,5	0,9	5	371,1445	323	51,960231	0,7069	3,25	1,1	5	109,1174	
1,5	0,9	6	379,2156	324	53,090187	0,7723	3,25	1,1	6	106,4917	
1,5	0,9	7	383,5272	325	53,693812	0,8469	3,25	1,1	7	114,7319	
1,5	0,9	8	389,111	326	54,47554	0,9185	3,25	1,1	8	109,2835	
1,5	0,9	9	382,3655	327	53,531163	1,0203	3,25	1,1	9	110,6697	
1,5	0,9	10	411,8529	328	57,6594	1,0330	3,25	1,1	10	120,7463	
1,5	0,9	11	399,6476	329	55,950661	1,1484	3,25	1,1	11	120,2878	
1,5	0,9	12	428,2561	330	59,955851	1,1632	3,25	1,1	12	114,7745	
1,5	1	3	313,2349	331	43,852886	0,6439	3,25	1,2	3	95,3621	
1,5	1	4	313,1058	332	43,834812	0,7251	3,25	1,2	4	95,6006	
1,5	1	5	321,0145	333	44,942026	0,7875	3,25	1,2	5	99,7143	
1,5	1	6	329,9696	334	46,19574	0,8475	3,25	1,2	6	102,1926	
1,5	1	7	327,9018	335	45,906251	0,9332	3,25	1,2	7	102,4971	
1,5	1	8	332,7847	336	46,589858	1,0027	3,25	1,2	8	106,5303	
1,5	1	9	329,6689	337	46,153647	1,0908	3,25	1,2	9	107,8741	
1,5	1	10	363,5386	338	50,895405	1,0926	3,25	1,2	10	106,5449	
1,5	1	11	342,1206	339	47,89688	1,2235	3,25	1,2	11	102,5392	
1,5	1	12	373,2514	340	52,255196	1,2317	3,25	1,2	12	111,8960	
1,5	1,1	3	279,7589	341	39,166239	0,6867	3,5	0,5	3	247,7077	
1,5	1,1	4	279,6971	342	39,15759	0,7637	3,5	0,5	4	248,1990	
1,5	1,1	5	279,574	343	39,140361	0,8409	3,5	0,6	3	194,2427	
1,5	1,1	6	280,6843	344	39,295802	0,9154	3,5	0,6	4	194,6636	
1,5	1,1	7	293,1886	345	41,046398	0,9646	3,5	0,6	5	195,5058	
1,5	1,1	8	297,5775	346	41,660843	1,0317	3,5	0,6	6	200,3580	
1,5	1,1	9	292,6128	347	40,965789	1,1197	3,5	0,6	7	204,8206	
1,5	1,1	10	320,5115	348	44,871604	1,1347	3,5	0,6	8	208,1634	
1,5	1,1	11	306,1796	349	42,865143	1,2434	3,5	0,6	9	204,8800	
1,5	1,1	12	333,9664	350	46,755299	1,2587	3,5	0,6	10	211,3860	
1,5	1,2	3	243,9969	351	34,159562	0,7303	3,5	0,6	11	214,6623	
1,5	1,2	4	253,8934	352	35,545076	0,7827	3,5	0,6	12	214,6089	
1,5	1,2	5	256,7865	353	35,950103	0,8499	3,5	0,7	3	159,1894	
1,5	1,2	6	256,6391	354	35,929468	0,9236	3,5	0,7	4	162,1229	
1,5	1,2	7	269,3695	355	37,711729	0,9699	3,5	0,7	5	162,7250	
1,5	1,2	8	273,4801	356	38,287208	1,0346	3,5	0,7	6	168,7834	
1,5	1,2	9	268,9675	357	37,65545	1,1175	3,5	0,7	7	165,8578	
1,5	1,2	10	274,8278	358	38,475898	1,1784	3,5	0,7	8	165,9025	
1,5	1,2	11	281,4469	359	39,402569	1,2377	3,5	0,7	9	173,3436	
1,5	1,2	12	296,6688	360	41,533635	1,2788	3,5	0,7	10	177,7947	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1,75	0,1	3	823,44	361	115,2816	-0,8856	3,5	0,7	11	179,2773	
1,75	0,1	4	823,44	362	115,2816	-0,7546	3,5	0,7	12	177,8280	
1,75	0,1	5	823,44	363	115,2816	-0,6237	3,5	0,8	3	136,7493	
1,75	0,1	6	823,44	364	115,2816	-0,4927	3,5	0,8	4	138,4505	
1,75	0,1	7	823,44	365	115,2816	-0,3618	3,5	0,8	5	138,6473	
1,75	0,1	8	823,44	366	115,2816	-0,2308	3,5	0,8	6	141,5350	
1,75	0,1	9	823,44	367	115,2816	-0,0999	3,5	0,8	7	145,7672	
1,75	0,1	10	823,44	368	115,2816	0,0311	3,5	0,8	8	144,4303	
1,75	0,1	11	823,44	369	115,2816	0,1620	3,5	0,8	9	149,9998	
1,75	0,1	12	823,44	370	115,2816	0,2930	3,5	0,8	10	152,8235	
1,75	0,2	3	823,44	371	115,2816	-0,8175	3,5	0,8	11	152,7976	
1,75	0,2	4	823,44	372	115,2816	-0,6966	3,5	0,8	12	150,0067	
1,75	0,2	5	823,44	373	115,2816	-0,5757	3,5	0,9	3	118,5178	
1,75	0,2	6	823,44	374	115,2816	-0,4548	3,5	0,9	4	121,4618	
1,75	0,2	7	823,44	375	115,2816	-0,3339	3,5	0,9	5	125,5904	
1,75	0,2	8	823,44	376	115,2816	-0,2131	3,5	0,9	6	127,0213	
1,75	0,2	9	823,44	377	115,2816	-0,0922	3,5	0,9	7	129,7680	
1,75	0,2	10	823,44	378	115,2816	0,0287	3,5	0,9	8	127,1194	
1,75	0,2	11	823,44	379	115,2816	0,1496	3,5	0,9	9	131,1471	
1,75	0,2	12	823,44	380	115,2816	0,2704	3,5	0,9	10	132,4788	
1,75	0,3	3	823,44	381	115,2816	-0,7591	3,5	0,9	11	131,1436	
1,75	0,3	4	823,44	382	115,2816	-0,6468	3,5	0,9	12	133,2860	
1,75	0,3	5	823,44	383	115,2816	-0,5346	3,5	1	3	106,6489	
1,75	0,3	6	823,44	384	115,2816	-0,4223	3,5	1	4	106,9200	
1,75	0,3	7	823,44	385	115,2816	-0,3101	3,5	1	5	108,3438	
1,75	0,3	8	823,44	386	115,2816	-0,1979	3,5	1	6	113,3596	
1,75	0,3	9	823,44	387	115,2816	-0,0856	3,5	1	7	116,1833	
1,75	0,3	10	823,44	388	115,2816	0,0266	3,5	1	8	112,3704	
1,75	0,3	11	823,44	389	115,2816	0,1389	3,5	1	9	114,9541	
1,75	0,3	12	823,44	390	115,2816	0,2511	3,5	1	10	114,9799	
1,75	0,4	3	823,44	391	115,2816	-0,7085	3,5	1	11	120,6968	
1,75	0,4	4	823,44	392	115,2816	-0,6037	3,5	1	12	122,6409	
1,75	0,4	5	823,44	393	115,2816	-0,4989	3,5	1,1	3	96,2120	
1,75	0,4	6	823,44	394	115,2816	-0,3942	3,5	1,1	4	98,9300	
1,75	0,4	7	823,44	395	115,2816	-0,2894	3,5	1,1	5	99,0815	
1,75	0,4	8	823,44	396	115,2816	-0,1847	3,5	1,1	6	102,4780	
1,75	0,4	9	823,44	397	115,2816	-0,0799	3,5	1,1	7	104,1861	
1,75	0,4	10	823,44	398	115,2816	0,0249	3,5	1,1	8	101,4683	
1,75	0,4	11	823,44	399	115,2816	0,1296	3,5	1,1	9	101,1313	
1,75	0,4	12	823,44	400	115,2816	0,2344	3,5	1,1	10	111,7198	
1,75	0,5	3	823,44	401	115,2816	-0,6642	3,5	1,1	11	109,2271	
1,75	0,5	4	823,44	402	115,2816	-0,5660	3,5	1,1	12	104,2629	
1,75	0,5	5	823,44	403	115,2816	-0,4678	3,5	1,2	3	86,7409	
1,75	0,5	6	823,44	404	115,2816	-0,3695	3,5	1,2	4	86,9697	
1,75	0,5	7	823,44	405	115,2816	-0,2713	3,5	1,2	5	90,7293	
1,75	0,5	8	823,44	406	115,2816	-0,1731	3,5	1,2	6	94,4601	
1,75	0,5	9	823,44	407	115,2816	-0,0749	3,5	1,2	7	93,2865	
1,75	0,5	10	823,44	408	115,2816	0,0233	3,5	1,2	8	96,9694	
1,75	0,5	11	823,44	409	115,2816	0,1215	3,5	1,2	9	98,1984	
1,75	0,5	12	823,44	410	115,2816	0,2197	3,5	1,2	10	97,0131	
1,75	0,6	3	555,3958	411	77,755409	0,0899	3,5	1,2	11	100,6937	
1,75	0,6	4	560,281	412	78,439334	0,1693	3,5	1,2	12	101,8700	
1,75	0,6	5	561,9355	413	78,670971	0,2573	3,75	0,5	3	225,2930	
1,75	0,6	6	560,0431	414	78,406027	0,3548	3,75	0,5	4	224,3003	
1,75	0,6	7	567,9638	415	79,514936	0,4261	3,75	0,5	5	231,1503	
1,75	0,6	8	565,6902	416	79,196622	0,5246	3,75	0,5	6	227,9711	
1,75	0,6	9	576,3771	417	80,692793	0,5885	3,75	0,5	7	231,3722	
1,75	0,6	10	602,8666	418	84,401328	0,6103	3,75	0,5	8	238,0281	
1,75	0,6	11	581,8147	419	81,454052	0,7589	3,75	0,5	9	238,0390	
1,75	0,6	12	598,1972	420	83,747605	0,8077	3,75	0,5	10	231,4097	
1,75	0,7	3	421,1031	421	58,954434	0,4232	3,75	0,5	11	236,3464	
1,75	0,7	4	431,6924	422	60,43694	0,4839	3,75	0,5	12	237,9708	
1,75	0,7	5	439,7004	423	61,55806	0,5510	3,75	0,6	3	177,5681	
1,75	0,7	6	439,5624	424	61,538742	0,6386	3,75	0,6	4	179,4414	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
1,75	0,7	7	442,4616	425	61,944621	0,7186	3,75	0,6	5	181,1273	
1,75	0,7	8	454,4803	426	63,627236	0,7756	3,75	0,6	6	182,7274	
1,75	0,7	9	453,6941	427	63,517167	0,8649	3,75	0,6	7	182,8298	
1,75	0,7	10	440,0761	428	61,610651	0,9865	3,75	0,6	8	185,7711	
1,75	0,7	11	471,267	429	65,977383	0,9953	3,75	0,6	9	183,1181	
1,75	0,7	12	451,2545	430	63,175627	1,1330	3,75	0,6	10	188,7081	
1,75	0,8	3	342,0197	431	47,882752	0,5897	3,75	0,6	11	191,5999	
1,75	0,8	4	355,6062	432	49,784871	0,6400	3,75	0,6	12	191,5903	
1,75	0,8	5	348,5354	433	48,794962	0,7396	3,75	0,7	3	147,3303	
1,75	0,8	6	354,9891	434	49,698467	0,8069	3,75	0,7	4	149,0366	
1,75	0,8	7	362,8227	435	50,795178	0,8709	3,75	0,7	5	153,2410	
1,75	0,8	8	355,4074	436	49,757036	0,9713	3,75	0,7	6	152,0375	
1,75	0,8	9	362,6398	437	50,769566	1,0367	3,75	0,7	7	153,8372	
1,75	0,8	10	384,5207	438	53,832897	1,0672	3,75	0,7	8	159,8151	
1,75	0,8	11	377,8082	439	52,893151	1,1659	3,75	0,7	9	156,2332	
1,75	0,8	12	384,4176	440	53,818457	1,2329	3,75	0,7	10	160,2306	
1,75	0,9	3	290,4947	441	40,669254	0,6770	3,75	0,7	11	161,5751	
1,75	0,9	4	297,8428	442	41,697991	0,7390	3,75	0,7	12	160,2332	
1,75	0,9	5	294,6401	443	41,24961	0,8248	3,75	0,8	3	127,6651	
1,75	0,9	6	302,8838	444	42,403728	0,8847	3,75	0,8	4	126,4498	
1,75	0,9	7	305,3286	445	42,746001	0,9577	3,75	0,8	5	131,9720	
1,75	0,9	8	302,4176	446	42,338464	1,0429	3,75	0,8	6	128,3107	
1,75	0,9	9	305,1077	447	42,715078	1,1153	3,75	0,8	7	132,1676	
1,75	0,9	10	329,7209	448	46,160929	1,1381	3,75	0,8	8	130,9551	
1,75	0,9	11	322,7842	449	45,189781	1,2324	3,75	0,8	9	136,0340	
1,75	0,9	12	329,6175	450	46,146444	1,2955	3,75	0,8	10	138,5911	
1,75	1	3	249,3253	451	34,905543	0,7337	3,75	0,8	11	138,5914	
1,75	1	4	256,1188	452	35,856629	0,7939	3,75	0,8	12	136,0409	
1,75	1	5	263,6324	453	36,908536	0,8525	3,75	0,9	3	111,4609	
1,75	1	6	271,1423	454	37,959916	0,9111	3,75	0,9	4	110,5671	
1,75	1	7	263,3614	455	36,870597	1,0027	3,75	0,9	5	114,3498	
1,75	1	8	270,8578	456	37,920086	1,0614	3,75	0,9	6	115,6678	
1,75	1	9	270,5847	457	37,881852	1,1368	3,75	0,9	7	118,1403	
1,75	1	10	274,9163	458	38,488275	1,2023	3,75	0,9	8	115,7724	
1,75	1	11	289,1333	459	40,478656	1,2464	3,75	0,9	9	119,4368	
1,75	1	12	274,8014	460	38,472193	1,3522	3,75	0,9	10	120,6558	
1,75	1,1	3	222,1042	461	31,094584	0,7565	3,75	0,9	11	119,4461	
1,75	1,1	4	221,8974	462	31,065642	0,8283	3,75	0,9	12	130,3470	
1,75	1,1	5	225,3318	463	31,546455	0,8927	3,75	1	3	97,3735	
1,75	1,1	6	228,7408	464	32,023711	0,9571	3,75	1	4	97,6411	
1,75	1,1	7	242,5687	465	33,959614	1,0000	3,75	1	5	98,9584	
1,75	1,1	8	249,4428	466	34,921995	1,0573	3,75	1	6	104,8956	
1,75	1,1	9	249,3115	467	34,903609	1,1290	3,75	1	7	106,1325	
1,75	1,1	10	242,1713	468	33,903988	1,2151	3,75	1	8	102,6524	
1,75	1,1	11	266,4186	469	37,298597	1,2366	3,75	1	9	105,0258	
1,75	1,1	12	248,8783	470	34,842961	1,3441	3,75	1	10	105,0342	
1,75	1,2	3	200,3606	471	28,050487	0,7664	3,75	1	11	115,5803	
1,75	1,2	4	208,115	472	29,136103	0,8195	3,75	1	12	112,0854	
1,75	1,2	5	211,4016	473	29,596225	0,8813	3,75	1,1	3	88,0554	
1,75	1,2	6	214,6068	474	30,044951	0,9433	3,75	1,1	4	90,5809	
1,75	1,2	7	209,5742	475	29,340392	1,0216	3,75	1,1	5	90,7094	
1,75	1,2	8	209,4157	476	29,318202	1,0902	3,75	1,1	6	95,3540	
1,75	1,2	9	231,2225	477	32,371147	1,1155	3,75	1,1	7	95,4242	
1,75	1,2	10	227,2959	478	31,821427	1,1916	3,75	1,1	8	99,9986	
1,75	1,2	11	220,0806	479	30,811277	1,2742	3,75	1,1	9	101,3678	
1,75	1,2	12	233,6456	480	32,71039	1,3157	3,75	1,1	10	102,3335	
2	0,1	3	823,44	481	115,2816	-0,7830	3,75	1,1	11	100,0581	
2	0,1	4	823,44	482	115,2816	-0,6673	3,75	1,1	12	100,6298	
2	0,1	5	823,44	483	115,2816	-0,5515	3,75	1,2	3	79,5508	
2	0,1	6	823,44	484	115,2816	-0,4357	3,75	1,2	4	83,2808	
2	0,1	7	823,44	485	115,2816	-0,3199	3,75	1,2	5	83,2414	
2	0,1	8	823,44	486	115,2816	-0,2041	3,75	1,2	6	86,6637	
2	0,1	9	823,44	487	115,2816	-0,0883	3,75	1,2	7	85,6053	
2	0,1	10	823,44	488	115,2816	0,0275	3,75	1,2	8	88,9739	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2	0,1	11	823,44	489	115,2816	0,1433	3,75	1,2	9	90,1177	
2	0,1	12	823,44	490	115,2816	0,2591	3,75	1,2	10	89,0100	
2	0,2	3	823,44	491	115,2816	-0,7293	3,75	1,2	11	97,9453	
2	0,2	4	823,44	492	115,2816	-0,6215	3,75	1,2	12	93,5040	
2	0,2	5	823,44	493	115,2816	-0,5136	4	0,5	3	206,5515	
2	0,2	6	823,44	494	115,2816	-0,4058	4	0,5	4	206,0725	
2	0,2	7	823,44	495	115,2816	-0,2979	4	0,5	5	209,5783	
2	0,2	8	823,44	496	115,2816	-0,1901	4	0,5	6	211,9072	
2	0,2	9	823,44	497	115,2816	-0,0822	4	0,5	7	216,4500	
2	0,2	10	823,44	498	115,2816	0,0256	4	0,5	8	212,0818	
2	0,2	11	823,44	499	115,2816	0,1334	4	0,5	9	212,0848	
2	0,2	12	823,44	500	115,2816	0,2413	4	0,5	10	220,9828	
2	0,3	3	823,44	501	115,2816	-0,6825	4	0,5	11	221,0564	
2	0,3	4	823,44	502	115,2816	-0,5816	4	0,5	12	220,9079	
2	0,3	5	823,44	503	115,2816	-0,4806	4	0,6	3	164,1247	
2	0,3	6	823,44	504	115,2816	-0,3797	4	0,6	4	167,1714	
2	0,3	7	823,44	505	115,2816	-0,2788	4	0,6	5	168,9336	
2	0,3	8	823,44	506	115,2816	-0,1779	4	0,6	6	168,1708	
2	0,3	9	823,44	507	115,2816	-0,0770	4	0,6	7	173,0968	
2	0,3	10	823,44	508	115,2816	0,0240	4	0,6	8	167,7583	
2	0,3	11	823,44	509	115,2816	0,1249	4	0,6	9	176,9592	
2	0,3	12	823,44	510	115,2816	0,2258	4	0,6	10	170,4031	
2	0,4	3	823,44	511	115,2816	-0,6413	4	0,6	11	173,0539	
2	0,4	4	823,44	512	115,2816	-0,5465	4	0,6	12	173,0393	
2	0,4	5	823,44	513	115,2816	-0,4516	4	0,7	3	137,5868	
2	0,4	6	823,44	514	115,2816	-0,3568	4	0,7	4	137,6352	
2	0,4	7	823,44	515	115,2816	-0,2620	4	0,7	5	139,4214	
2	0,4	8	823,44	516	115,2816	-0,1672	4	0,7	6	138,3174	
2	0,4	9	823,44	517	115,2816	-0,0723	4	0,7	7	144,4823	
2	0,4	10	823,44	518	115,2816	0,0225	4	0,7	8	145,7579	
2	0,4	11	823,44	519	115,2816	0,1173	4	0,7	9	142,1546	
2	0,4	12	823,44	520	115,2816	0,2122	4	0,7	10	145,8194	
2	0,5	3	604,2931	521	84,60103	-0,0392	4	0,7	11	147,0740	
2	0,5	4	604,0954	522	84,573362	0,0507	4	0,7	12	145,8600	
2	0,5	5	617,7063	523	86,478888	0,1050	4	0,8	3	116,6754	
2	0,5	6	613,2646	524	85,857044	0,2059	4	0,8	4	119,3087	
2	0,5	7	631,2961	525	88,381454	0,2488	4	0,8	5	120,6632	
2	0,5	8	630,3752	526	88,252528	0,3406	4	0,8	6	124,2473	
2	0,5	9	617,4995	527	86,44993	0,4633	4	0,8	7	120,8824	
2	0,5	10	640,3567	528	89,649938	0,4937	4	0,8	8	123,6768	
2	0,5	11	622,0169	529	87,082365	0,6305	4	0,8	9	124,4271	
2	0,5	12	658,6357	530	92,208999	0,6254	4	0,8	10	126,7413	
2	0,6	3	438,0251	531	61,323518	0,3689	4	0,8	11	126,7658	
2	0,6	4	443,51	532	62,091404	0,4401	4	0,8	12	124,4508	
2	0,6	5	439,7955	533	61,571366	0,5338	4	0,9	3	102,2368	
2	0,6	6	454,0793	534	63,571105	0,5835	4	0,9	4	105,2955	
2	0,6	7	447,4981	535	62,64974	0,6842	4	0,9	5	104,9300	
2	0,6	8	464,426	536	65,019639	0,7275	4	0,9	6	106,1534	
2	0,6	9	469,5995	537	65,743931	0,7995	4	0,9	7	108,4386	
2	0,6	10	462,8996	538	64,805945	0,9005	4	0,9	8	106,2727	
2	0,6	11	461,234	539	64,572766	0,9891	4	0,9	9	109,6248	
2	0,6	12	484,8921	540	67,884887	1,0160	4	0,9	10	110,7661	
2	0,7	3	345,0274	541	48,303829	0,5655	4	0,9	11	109,6611	
2	0,7	4	345,7654	542	48,407157	0,6441	4	0,9	12	119,6949	
2	0,7	5	345,5547	543	48,377654	0,7249	4	1	3	91,4249	
2	0,7	6	362,6876	544	50,77626	0,7655	4	1	4	94,1130	
2	0,7	7	362,3912	545	50,734765	0,8465	4	1	5	96,4185	
2	0,7	8	362,8129	546	50,793799	0,9258	4	1	6	96,5391	
2	0,7	9	362,7221	547	50,781088	1,0063	4	1	7	97,6722	
2	0,7	10	375,4515	548	52,563204	1,0571	4	1	8	94,6427	
2	0,7	11	378,3964	549	52,9755	1,1305	4	1	9	96,6639	
2	0,7	12	362,5393	550	50,755503	1,2476	4	1	10	96,6929	
2	0,8	3	282,068	551	39,489523	0,6768	4	1	11	106,4036	
2	0,8	4	289,4334	552	40,520672	0,7370	4	1	12	103,1701	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2	0,8	5	289,3918	553	40,514853	0,8134	4	1,1	3	81,1597	
2	0,8	6	297,4487	554	41,642817	0,8721	4	1,1	4	83,4976	
2	0,8	7	303,6756	555	42,514577	0,9347	4	1,1	5	83,6433	
2	0,8	8	297,116	556	41,596246	1,0256	4	1,1	6	87,9304	
2	0,8	9	297,0034	557	41,580475	1,1022	4	1,1	7	87,9903	
2	0,8	10	311,54	558	43,615599	1,1466	4	1,1	8	92,2264	
2	0,8	11	317,4236	559	44,439308	1,2100	4	1,1	9	94,3637	
2	0,8	12	302,592	560	42,362886	1,3191	4	1,1	10	94,3862	
2	0,9	3	240,6404	561	33,689655	0,7325	4	1,1	11	92,3055	
2	0,9	4	244,0082	562	34,161152	0,7983	4	1,1	12	100,6966	
2	0,9	5	248,5277	563	34,793874	0,8616	4	1,2	3	75,3750	
2	0,9	6	250,3941	564	35,055174	0,9306	4	1,2	4	77,7635	
2	0,9	7	248,0088	565	34,721232	1,0084	4	1,2	5	76,8797	
2	0,9	8	256,6394	566	35,929513	1,0631	4	1,2	6	80,0512	
2	0,9	9	259,7344	567	36,362813	1,1295	4	1,2	7	79,0724	
2	0,9	10	256,365	568	35,891093	1,2094	4	1,2	8	82,2027	
2	0,9	11	280,4441	569	39,262177	1,2316	4	1,2	9	83,2594	
2	0,9	12	269,0227	570	37,663171	1,3285	4	1,2	10	82,2529	
2	1	3	211,9072	571	29,667012	0,7578	4	1,2	11	90,4867	
2	1	4	212,0818	572	29,691453	0,8271	4	1,2	12	86,3829	
2	1	5	220,9828	573	30,937586	0,8788	1,25	1,2	3	319,4388	Máximo:
2	1	6	220,9079	574	30,927099	0,9486	1,25	1,2	4	325,4651	348,5354
2	1	7	226,8184	575	31,754579	1,0063	1,25	1,2	5	329,9675	Mínimo:
2	1	8	235,5946	576	32,983245	1,0583	1,25	1,2	6	337,3364	249,3115
2	1	9	238,4633	577	33,384861	1,1222	1,25	1,2	9	335,8916	Classe A+
2	1	10	235,403	578	32,956424	1,1979	1,25	1,2	11	341,2225	
2	1	11	226,4102	579	31,697424	1,2856	1,5	1	3	313,2349	
2	1	12	247,0541	580	34,587567	1,3138	1,5	1	4	313,1058	
2	1,1	3	190,229	581	26,63206	0,7674	1,5	1	5	321,0145	
2	1,1	4	187,6285	582	26,267991	0,8390	1,5	1	6	329,9696	
2	1,1	5	193,1906	583	27,04668	0,8950	1,5	1	7	327,9018	
2	1,1	6	198,709	584	27,819261	0,9510	1,5	1	8	332,7847	
2	1,1	7	193,1324	585	27,038536	1,0284	1,5	1	9	329,6689	
2	1,1	8	198,6394	586	27,80952	1,0845	1,5	1	11	342,1206	
2	1,1	9	198,5478	587	27,796692	1,1514	1,5	1,1	3	279,7589	
2	1,1	10	220,3025	588	30,842349	1,1762	1,5	1,1	4	279,6971	
2	1,1	11	212,2439	589	29,714147	1,2583	1,5	1,1	5	279,5740	
2	1,1	12	220,1337	590	30,818717	1,3098	1,5	1,1	6	280,6843	
2	1,2	3	168,1776	591	23,544858	0,7768	1,5	1,1	7	293,1886	
2	1,2	4	167,718	592	23,480519	0,8416	1,5	1,1	8	297,5775	
2	1,2	5	170,4	593	23,856003	0,9006	1,5	1,1	9	292,6128	
2	1,2	6	173,0355	594	24,22497	0,9597	1,5	1,1	10	320,5115	
2	1,2	7	183,5364	595	25,695097	1,0043	1,5	1,1	11	306,1796	
2	1,2	8	188,7415	596	26,423806	1,0586	1,5	1,1	12	333,9664	
2	1,2	9	188,6876	597	26,416257	1,1227	1,5	1,2	4	253,8934	
2	1,2	10	183,3613	598	25,670583	1,1965	1,5	1,2	5	256,7865	
2	1,2	11	201,7251	599	28,241507	1,2265	1,5	1,2	6	256,6391	
2	1,2	12	188,4867	600	26,388135	1,3149	1,5	1,2	7	269,3695	
2,25	0,1	3	823,44	601	115,2816	-0,7018	1,5	1,2	8	273,4801	
2,25	0,1	4	823,44	602	115,2816	-0,5980	1,5	1,2	9	268,9675	
2,25	0,1	5	823,44	603	115,2816	-0,4942	1,5	1,2	10	274,8278	
2,25	0,1	6	823,44	604	115,2816	-0,3905	1,5	1,2	11	281,4469	
2,25	0,1	7	823,44	605	115,2816	-0,2867	1,5	1,2	12	296,6688	
2,25	0,1	8	823,44	606	115,2816	-0,1829	1,75	0,8	3	342,0197	
2,25	0,1	9	823,44	607	115,2816	-0,0791	1,75	0,8	5	348,5354	
2,25	0,1	10	823,44	608	115,2816	0,0246	1,75	0,9	3	290,4947	
2,25	0,1	11	823,44	609	115,2816	0,1284	1,75	0,9	4	297,8428	
2,25	0,1	12	823,44	610	115,2816	0,2322	1,75	0,9	5	294,6401	
2,25	0,2	3	823,44	611	115,2816	-0,6583	1,75	0,9	6	302,8838	
2,25	0,2	4	823,44	612	115,2816	-0,5610	1,75	0,9	7	305,3286	
2,25	0,2	5	823,44	613	115,2816	-0,4636	1,75	0,9	8	302,4176	
2,25	0,2	6	823,44	614	115,2816	-0,3663	1,75	0,9	9	305,1077	
2,25	0,2	7	823,44	615	115,2816	-0,2689	1,75	0,9	10	329,7209	
2,25	0,2	8	823,44	616	115,2816	-0,1716	1,75	0,9	11	322,7842	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,25	0,2	9	823,44	617	115,2816	-0,0742	1,75	0,9	12	329,6175	
2,25	0,2	10	823,44	618	115,2816	0,0231	1,75	1	3	249,3253	
2,25	0,2	11	823,44	619	115,2816	0,1204	1,75	1	4	256,1188	
2,25	0,2	12	823,44	620	115,2816	0,2178	1,75	1	5	263,6324	
2,25	0,3	3	823,44	621	115,2816	-0,6199	1,75	1	6	271,1423	
2,25	0,3	4	823,44	622	115,2816	-0,5282	1,75	1	7	263,3614	
2,25	0,3	5	823,44	623	115,2816	-0,4366	1,75	1	8	270,8578	
2,25	0,3	6	823,44	624	115,2816	-0,3449	1,75	1	9	270,5847	
2,25	0,3	7	823,44	625	115,2816	-0,2532	1,75	1	10	274,9163	
2,25	0,3	8	823,44	626	115,2816	-0,1616	1,75	1	11	289,1333	
2,25	0,3	9	823,44	627	115,2816	-0,0699	1,75	1	12	274,8014	
2,25	0,3	10	823,44	628	115,2816	0,0218	1,75	1,1	8	249,4428	
2,25	0,3	11	823,44	629	115,2816	0,1134	1,75	1,1	9	249,3115	
2,25	0,3	12	823,44	630	115,2816	0,2051	1,75	1,1	11	266,4186	
2,25	0,4	3	751,7517	631	105,24524	-0,4066	2	0,7	3	345,0274	
2,25	0,4	4	750,3501	632	105,04901	-0,3164	2	0,7	4	345,7654	
2,25	0,4	5	750,3101	633	105,04342	-0,2297	2	0,7	5	345,5547	
2,25	0,4	6	757,5991	634	106,06387	-0,1613	2	0,8	3	282,0680	
2,25	0,4	7	772,2171	635	108,11039	-0,1113	2	0,8	4	289,4334	
2,25	0,4	8	764,8882	636	107,08435	-0,0063	2	0,8	5	289,3918	
2,25	0,4	9	757,5593	637	106,0583	0,0986	2	0,8	6	297,4487	
2,25	0,4	10	786,8355	638	110,15697	0,1120	2	0,8	7	303,6756	
2,25	0,4	11	783,1709	639	109,64393	0,2078	2	0,8	8	297,1160	
2,25	0,4	12	779,5066	640	109,13092	0,3036	2	0,8	9	297,0034	
2,25	0,5	3	484,8742	641	67,882392	0,2469	2	0,8	10	311,5400	
2,25	0,5	4	494,8386	642	69,277404	0,3054	2	0,8	11	317,4236	
2,25	0,5	5	496,0525	643	69,447344	0,3846	2	0,8	12	302,5920	
2,25	0,5	6	494,4526	644	69,223367	0,4705	2	0,9	6	250,3941	
2,25	0,5	7	503,4942	645	70,489185	0,5311	2	0,9	8	256,6394	
2,25	0,5	8	494,2782	646	69,198951	0,6351	2	0,9	9	259,7344	
2,25	0,5	9	498,4995	647	69,78993	0,7072	2	0,9	10	256,3650	
2,25	0,5	10	503,3206	648	70,46489	0,7778	2	0,9	11	280,4441	
2,25	0,5	11	521,5916	649	73,02283	0,8166	2	0,9	12	269,0227	
2,25	0,5	12	514,206	650	71,98884	0,9162	2,25	0,7	3	288,1416	
2,25	0,6	3	364,3123	651	51,003721	0,5061	2,25	0,7	4	288,1567	
2,25	0,6	4	363,7231	652	50,921235	0,5854	2,25	0,7	5	294,7597	
2,25	0,6	5	366,8168	653	51,354358	0,6564	2,25	0,7	6	294,6774	
2,25	0,6	6	366,6145	654	51,326027	0,7349	2,25	0,7	7	297,8535	
2,25	0,6	7	370,3751	655	51,85252	0,8045	2,25	0,7	8	311,8415	
2,25	0,6	8	384,7827	656	53,869574	0,8500	2,25	0,7	9	305,3304	
2,25	0,6	9	379,2067	657	53,088932	0,9406	2,25	0,7	10	311,6264	
2,25	0,6	10	384,6177	658	53,846478	1,0064	2,25	0,7	11	323,4489	
2,25	0,6	11	401,0174	659	56,142439	1,0475	2,25	0,7	12	313,3614	
2,25	0,6	12	389,105	660	54,4747	1,1524	2,25	0,8	6	253,8967	
2,25	0,7	3	288,1416	661	40,33983	0,6455	2,25	0,8	7	259,6925	
2,25	0,7	4	288,1567	662	40,341938	0,7198	2,25	0,8	8	251,0087	
2,25	0,7	5	294,7597	663	41,266357	0,7800	2,25	0,8	9	256,6628	
2,25	0,7	6	294,6774	664	41,254835	0,8545	2,25	0,8	10	256,5228	
2,25	0,7	7	297,8535	665	41,699493	0,9220	2,25	0,8	11	260,4345	
2,25	0,7	8	311,8415	666	43,657814	0,9663	2,25	0,8	12	273,4805	
2,25	0,7	9	305,3304	667	42,746249	1,0546	2,5	0,6	3	309,8451	
2,25	0,7	10	311,6264	668	43,627692	1,1154	2,5	0,6	4	313,2329	
2,25	0,7	11	323,4489	669	45,28285	1,1644	2,5	0,6	5	313,2157	
2,25	0,7	12	313,3614	670	43,870602	1,2603	2,5	0,6	6	319,4421	
2,25	0,8	3	239,4875	671	33,528244	0,7160	2,5	0,6	7	324,8763	
2,25	0,8	4	240,1559	672	33,621826	0,7856	2,5	0,6	8	325,4926	
2,25	0,8	5	242,5798	673	33,961171	0,8516	2,5	0,6	9	330,0670	
2,25	0,8	6	253,8967	674	35,545535	0,8994	2,5	0,6	10	329,9675	
2,25	0,8	7	259,6925	675	36,356946	0,9585	2,5	0,6	11	340,8537	
2,25	0,8	8	251,0087	676	35,141221	1,0472	2,5	0,6	12	337,3380	
2,25	0,8	9	256,6628	677	35,932798	1,1066	2,5	0,7	3	250,4522	
2,25	0,8	10	256,5228	678	35,913198	1,1779	2,5	0,7	4	252,9931	
2,25	0,8	11	260,4345	679	36,460833	1,2408	2,5	0,7	5	250,4777	
2,25	0,8	12	273,4805	680	38,287274	1,2851	2,5	0,7	6	253,0789	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,25	0,9	3	209,3592	681	29,310284	0,7441	2,5	0,7	7	258,3286	
2,25	0,9	4	207,5088	682	29,051236	0,8156	2,5	0,7	8	260,8961	
2,25	0,9	5	207,8331	683	29,096633	0,8829	2,5	0,7	9	260,8165	
2,25	0,9	6	218,0187	684	30,522612	0,9308	2,5	0,7	10	263,4273	
2,25	0,9	7	217,9522	685	30,513302	0,9989	2,5	0,7	11	260,6478	
2,25	0,9	8	228,3236	686	31,965307	1,0464	2,5	0,7	12	284,3253	
2,25	0,9	9	231,4772	687	32,406812	1,1082	2,75	0,6	3	267,0769	
2,25	0,9	10	233,4191	688	32,678675	1,1722	2,75	0,6	4	274,5147	
2,25	0,9	11	228,0941	689	31,933178	1,2506	2,75	0,6	5	276,4580	
2,25	0,9	12	231,1698	690	32,363765	1,3125	2,75	0,6	6	274,6436	
2,25	1	3	181,1307	691	25,358297	0,7663	2,75	0,6	7	284,8474	
2,25	1	4	183,7377	692	25,723282	0,8265	2,75	0,6	8	284,7564	
2,25	1	5	185,1272	693	25,917808	0,8890	2,75	0,6	9	280,9144	
2,25	1	6	188,717	694	26,420383	0,9473	2,75	0,6	10	279,4479	
2,25	1	7	186,2812	695	26,079372	1,0170	2,75	0,6	11	280,6843	
2,25	1	8	193,5043	696	27,090595	1,0685	2,75	0,6	12	297,0457	
2,25	1	9	195,8854	697	27,423959	1,1291	3	0,5	3	305,4003	
2,25	1	10	193,4231	698	27,079233	1,1988	3	0,5	4	313,0982	
2,25	1	11	212,7712	699	29,787971	1,2276	3	0,5	5	313,2224	
2,25	1	12	203,0652	700	28,429134	1,3109	3	0,5	6	313,2349	
2,25	1,1	3	163,2326	701	22,85256	0,7681	3	0,5	7	312,3598	
2,25	1,1	4	164,9258	702	23,089609	0,8275	3	0,5	8	313,1058	
2,25	1,1	5	171,5208	703	24,012912	0,8781	3	0,5	9	328,7197	
2,25	1,1	6	165,0206	704	23,102884	0,9524	3	0,5	10	321,0145	
2,25	1,1	7	176,514	705	24,711959	0,9941	3	0,5	11	320,9120	
2,25	1,1	8	180,5977	706	25,283679	1,0493	3	0,5	12	329,9696	
2,25	1,1	9	185,706	707	25,998844	1,1026	3	0,6	8	253,8942	
2,25	1,1	10	183,3247	708	25,665457	1,1694	3	0,6	9	250,3948	
2,25	1,1	11	176,3676	709	24,691468	1,2444	3	0,6	10	256,7865	
2,25	1,1	12	192,4531	710	26,943435	1,2779	3	0,6	11	258,8688	
2,25	1,2	3	144,6436	711	20,2501	0,7710	3	0,6	12	256,6391	
2,25	1,2	4	149,2126	712	20,889757	0,8231	3,25	0,5	3	274,9459	
2,25	1,2	5	153,7093	713	21,519296	0,8754	3,25	0,5	4	277,5226	
2,25	1,2	6	158,1525	714	22,141354	0,9279	3,25	0,5	5	276,8476	
2,25	1,2	7	153,7453	715	21,524336	0,9956	3,25	0,5	6	276,4007	
2,25	1,2	8	158,1388	716	22,139428	1,0481	3,25	0,5	7	280,6423	
2,25	1,2	9	158,0975	717	22,133649	1,1083	3,25	0,5	8	279,9970	
2,25	1,2	10	165,6944	718	23,197219	1,1552	3,25	0,5	9	289,3478	
2,25	1,2	11	169,0474	719	23,66664	1,2095	3,25	0,5	10	284,2909	
2,25	1,2	12	165,4729	720	23,166212	1,2758	3,25	0,5	11	288,5667	
2,5	0,1	3	823,44	721	115,2816	-0,6358	3,25	0,5	12	288,4934	
2,5	0,1	4	823,44	722	115,2816	-0,5418	3,5	0,5	5	254,0315	
2,5	0,1	5	823,44	723	115,2816	-0,4478	3,5	0,5	6	249,3253	
2,5	0,1	6	823,44	724	115,2816	-0,3538	3,5	0,5	7	250,4273	
2,5	0,1	7	823,44	725	115,2816	-0,2597	3,5	0,5	8	256,1188	
2,5	0,1	8	823,44	726	115,2816	-0,1657	3,5	0,5	9	254,2411	
2,5	0,1	9	823,44	727	115,2816	-0,0717	3,5	0,5	10	263,6324	
2,5	0,1	10	823,44	728	115,2816	0,0223	3,5	0,5	11	269,2750	
2,5	0,1	11	823,44	729	115,2816	0,1163	3,5	0,5	12	271,1423	
2,5	0,1	12	823,44	730	115,2816	0,2103	3,5	0,4	3	340,1411	
2,5	0,2	3	823,44	731	115,2816	-0,5999	3,5	0,4	4	343,0041	
2,5	0,2	4	823,44	732	115,2816	-0,5112	3,5	0,4	5	345,7594	
2,5	0,2	5	823,44	733	115,2816	-0,4225	3,5	0,4	6	342,0197	
2,5	0,2	6	823,44	734	115,2816	-0,3338	3,5	0,4	7	345,7341	
2,5	0,2	7	823,44	735	115,2816	-0,2451	3,5	0,4	10	348,5354	
2,5	0,2	8	823,44	736	115,2816	-0,1564	3,75	0,4	3	306,0220	
2,5	0,2	9	823,44	737	115,2816	-0,0677	3,75	0,4	4	308,6557	
2,5	0,2	10	823,44	738	115,2816	0,0211	3,75	0,4	5	313,0959	
2,5	0,2	11	823,44	739	115,2816	0,1098	3,75	0,4	6	313,2402	
2,5	0,2	12	823,44	740	115,2816	0,1985	3,75	0,4	7	312,7539	
2,5	0,3	3	823,44	741	115,2816	-0,5679	3,75	0,4	8	317,4210	
2,5	0,3	4	823,44	742	115,2816	-0,4839	3,75	0,4	9	319,4635	
2,5	0,3	5	823,44	743	115,2816	-0,3999	3,75	0,4	10	313,0687	
2,5	0,3	6	823,44	744	115,2816	-0,3159	3,75	0,4	11	321,3709	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,5	0,3	7	823,44	745	115,2816	-0,2320	3,75	0,4	12	325,4635	
2,5	0,3	8	823,44	746	115,2816	-0,1480	4	0,4	3	279,6436	
2,5	0,3	9	823,44	747	115,2816	-0,0640	4	0,4	4	281,6354	
2,5	0,3	10	823,44	748	115,2816	0,0199	4	0,4	5	280,0862	
2,5	0,3	11	823,44	749	115,2816	0,1039	4	0,4	6	282,0680	
2,5	0,3	12	823,44	750	115,2816	0,1879	4	0,4	7	287,4500	
2,5	0,4	3	604,4765	751	84,626706	-0,0354	4	0,4	8	289,4334	
2,5	0,4	4	604,2272	752	84,591802	0,0449	4	0,4	9	293,0328	
2,5	0,4	5	604,0912	753	84,572765	0,1249	4	0,4	10	289,3918	
2,5	0,4	6	603,9925	754	84,558954	0,2049	4	0,4	11	298,4005	
2,5	0,4	7	618,5718	755	86,600053	0,2510	4	0,4	12	297,4487	
2,5	0,4	8	618,4923	756	86,588921	0,3309	1	1,2	3	454,1028	Máximo:
2,5	0,4	9	625,7961	757	87,611455	0,3938	1,25	1	3	412,4777	454,4803
2,5	0,4	10	630,3583	758	88,250161	0,4631	1,25	1	4	421,3486	Mínimo:
2,5	0,4	11	622,0654	759	87,089157	0,5618	1,25	1	5	423,2020	348,9824
2,5	0,4	12	643,9474	760	90,15264	0,5912	1,25	1	6	439,3755	Classe A
2,5	0,5	3	408,344	761	57,168156	0,3957	1,25	1	7	439,3166	
2,5	0,5	4	408,3184	762	57,164577	0,4716	1,25	1	9	453,4629	
2,5	0,5	5	412,694	763	57,777153	0,5379	1,25	1,1	3	362,8321	
2,5	0,5	6	412,4777	764	57,746878	0,6142	1,25	1,1	4	369,5539	
2,5	0,5	7	415,9895	765	58,238526	0,6824	1,25	1,1	5	371,0033	
2,5	0,5	8	421,3486	766	58,988804	0,7465	1,25	1,1	6	382,6864	
2,5	0,5	9	419,3829	767	58,713599	0,8267	1,25	1,1	7	396,3833	
2,5	0,5	10	423,202	768	59,248277	0,8942	1,25	1,1	8	395,7302	
2,5	0,5	11	421,1346	769	58,958841	0,9746	1,25	1,1	9	380,7246	
2,5	0,5	12	439,3755	770	61,512576	1,0105	1,25	1,1	10	420,9455	
2,5	0,6	3	309,8451	771	43,378308	0,5832	1,25	1,1	11	386,5269	
2,5	0,6	4	313,2329	772	43,85261	0,6485	1,25	1,1	12	421,6877	
2,5	0,6	5	313,2157	773	43,850198	0,7209	1,25	1,2	7	349,4407	
2,5	0,6	6	319,4421	774	44,7219	0,7802	1,25	1,2	8	348,9824	
2,5	0,6	7	324,8763	775	45,482679	0,8413	1,25	1,2	10	373,2483	
2,5	0,6	8	325,4926	776	45,56897	0,9123	1,25	1,2	12	372,2631	
2,5	0,6	9	330,067	777	46,209383	0,9752	1,5	0,8	3	443,5141	
2,5	0,6	10	329,9675	778	46,195451	1,0477	1,5	0,8	4	443,3956	
2,5	0,6	11	340,8537	779	47,719517	1,0974	1,5	0,9	3	366,8975	
2,5	0,6	12	337,338	780	47,227324	1,1771	1,5	0,9	4	366,5981	
2,5	0,7	3	250,4522	781	35,063305	0,6761	1,5	0,9	5	371,1445	
2,5	0,7	4	252,9931	782	35,419035	0,7402	1,5	0,9	6	379,2156	
2,5	0,7	5	250,4777	783	35,066881	0,8144	1,5	0,9	7	383,5272	
2,5	0,7	6	253,0789	784	35,43105	0,8784	1,5	0,9	8	389,1110	
2,5	0,7	7	258,3286	785	36,165998	0,9371	1,5	0,9	9	382,3655	
2,5	0,7	8	260,8961	786	36,525458	1,0011	1,5	0,9	10	411,8529	
2,5	0,7	9	260,8165	787	36,514307	1,0705	1,5	0,9	11	399,6476	
2,5	0,7	10	263,4273	788	36,879819	1,1345	1,5	0,9	12	428,2561	
2,5	0,7	11	260,6478	789	36,490689	1,2092	1,5	1	10	363,5386	
2,5	0,7	12	284,3253	790	39,805535	1,2311	1,5	1	12	373,2514	
2,5	0,8	3	211,7165	791	29,640306	0,7216	1,75	0,8	4	355,6062	
2,5	0,8	4	211,4309	792	29,600327	0,7885	1,75	0,8	6	354,9891	
2,5	0,8	5	212,0887	793	29,692411	0,8535	1,75	0,8	7	362,8227	
2,5	0,8	6	212,0907	794	29,692701	0,9197	1,75	0,8	8	355,4074	
2,5	0,8	7	214,4609	795	30,024529	0,9815	1,75	0,8	9	362,6398	
2,5	0,8	8	226,2391	796	31,67348	1,0252	1,75	0,8	10	384,5207	
2,5	0,8	9	231,5948	797	32,423266	1,0812	1,75	0,8	11	377,8082	
2,5	0,8	10	235,6325	798	32,98855	1,1398	1,75	0,8	12	384,4176	
2,5	0,8	11	233,1553	799	32,641748	1,2108	1,75	0,7	3	421,1031	
2,5	0,8	12	225,973	800	31,63622	1,2908	1,75	0,7	4	431,6924	
2,5	0,9	3	182,484	801	25,547757	0,7461	1,75	0,7	5	439,7004	
2,5	0,9	4	182,7174	802	25,580442	0,8092	1,75	0,7	6	439,5624	
2,5	0,9	5	185,0097	803	25,901355	0,8686	1,75	0,7	7	442,4616	
2,5	0,9	6	183,1205	804	25,636871	0,9357	1,75	0,7	8	454,4803	
2,5	0,9	7	191,0034	805	26,740479	0,9848	1,75	0,7	9	453,6941	
2,5	0,9	8	191,589	806	26,822453	1,0473	1,75	0,7	10	440,0761	
2,5	0,9	9	195,9256	807	27,429585	1,1029	1,75	0,7	12	451,2545	
2,5	0,9	10	195,9064	808	27,426896	1,1665	2	0,5	6	362,6876	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,5	0,9	11	191,4624	809	26,804739	1,2383	2	0,5	7	362,3912	
2,5	0,9	12	208,8982	810	29,245747	1,2699	2	0,5	8	362,8129	
2,5	1	3	159,6796	811	22,355147	0,7573	2	0,5	9	362,7221	
2,5	1	4	163,9966	812	22,959518	0,8108	2	0,5	10	375,4515	
2,5	1	5	164,1254	813	22,977556	0,8717	2	0,5	11	378,3964	
2,5	1	6	166,767	814	23,34738	0,9281	2	0,5	12	362,5393	
2,5	1	7	172,4106	815	24,13749	0,9793	2	0,6	3	438,0251	
2,5	1	8	166,17	816	23,263799	1,0514	2	0,6	4	443,5100	
2,5	1	9	166,2133	817	23,269863	1,1124	2	0,6	5	439,7955	
2,5	1	10	184,0753	818	25,770539	1,1420	2	0,6	6	454,0793	
2,5	1	11	180,593	819	25,283026	1,2093	2	0,6	7	447,4981	
2,5	1	12	172,2652	820	24,117131	1,2851	2,25	0,6	3	364,3123	
2,5	1,1	3	140,7328	821	19,702586	0,7611	2,25	0,6	4	363,7231	
2,5	1,1	4	142,577	822	19,960779	0,8168	2,25	0,6	5	366,8168	
2,5	1,1	5	146,9345	823	20,570836	0,8682	2,25	0,6	6	366,6145	
2,5	1,1	6	152,8804	824	21,403262	0,9170	2,25	0,6	7	370,3751	
2,5	1,1	7	150,9256	825	21,129577	0,9791	2,25	0,6	8	384,7827	
2,5	1,1	8	156,8241	826	21,95538	1,0279	2,25	0,6	9	379,2067	
2,5	1,1	9	158,7972	827	22,231612	1,0834	2,25	0,6	10	384,6177	
2,5	1,1	10	156,793	828	21,951016	1,1456	2,25	0,6	11	401,0174	
2,5	1,1	11	160,2332	829	22,432648	1,1986	2,25	0,6	12	389,1050	
2,5	1,1	12	164,602	830	23,044283	1,2500	2,5	0,5	3	408,3440	
2,5	1,2	3	129,9862	831	18,198069	0,7512	2,5	0,5	4	408,3184	
2,5	1,2	4	128,3162	832	17,964264	0,8107	2,5	0,5	5	412,6940	
2,5	1,2	5	132,1755	833	18,504571	0,8610	2,5	0,5	6	412,4777	
2,5	1,2	6	136,0437	834	19,046118	0,9114	2,5	0,5	7	415,9895	
2,5	1,2	7	133,6752	835	18,714521	0,9720	2,5	0,5	8	421,3486	
2,5	1,2	8	136,0536	836	19,04751	1,0248	2,5	0,5	9	419,3829	
2,5	1,2	9	136,031	837	19,044336	1,0815	2,5	0,5	10	423,2020	
2,5	1,2	10	151,2032	838	21,168454	1,1134	2,5	0,5	11	421,1346	
2,5	1,2	11	145,4912	839	20,368768	1,1795	2,5	0,5	12	439,3755	
2,5	1,2	12	158,7167	840	22,220344	1,2145	2,75	0,5	3	349,0952	
2,75	0,1	3	823,44	841	115,2816	-0,5812	2,75	0,5	4	349,6173	
2,75	0,1	4	823,44	842	115,2816	-0,4952	2,75	0,5	5	355,8336	
2,75	0,1	5	823,44	843	115,2816	-0,4093	2,75	0,5	6	357,9371	
2,75	0,1	6	823,44	844	115,2816	-0,3234	2,75	0,5	7	362,0800	
2,75	0,1	7	823,44	845	115,2816	-0,2374	2,75	0,5	8	361,9035	
2,75	0,1	8	823,44	846	115,2816	-0,1515	2,75	0,5	9	371,1671	
2,75	0,1	9	823,44	847	115,2816	-0,0655	2,75	0,5	10	366,4993	
2,75	0,1	10	823,44	848	115,2816	0,0204	2,75	0,5	11	370,9915	
2,75	0,1	11	823,44	849	115,2816	0,1063	2,75	0,5	12	384,6400	
2,75	0,1	12	823,44	850	115,2816	0,1923	3	0,4	3	432,0790	
2,75	0,2	3	823,44	851	115,2816	-0,5510	3	0,4	4	436,1415	
2,75	0,2	4	823,44	852	115,2816	-0,4696	3	0,4	5	440,2766	
2,75	0,2	5	823,44	853	115,2816	-0,3881	3	0,4	6	443,5141	
2,75	0,2	6	823,44	854	115,2816	-0,3066	3	0,4	7	439,8662	
2,75	0,2	7	823,44	855	115,2816	-0,2251	3	0,4	8	443,3956	
2,75	0,2	8	823,44	856	115,2816	-0,1436	3	0,4	9	454,1203	
2,75	0,2	9	823,44	857	115,2816	-0,0621	3,25	0,4	3	380,3633	
2,75	0,2	10	823,44	858	115,2816	0,0193	3,25	0,4	4	386,3027	
2,75	0,2	11	823,44	859	115,2816	0,1008	3,25	0,4	5	385,8189	
2,75	0,2	12	823,44	860	115,2816	0,1823	3,25	0,4	6	385,5010	
2,75	0,3	3	823,44	861	115,2816	-0,5239	3,25	0,4	7	388,9306	
2,75	0,3	4	823,44	862	115,2816	-0,4464	3,25	0,4	8	386,4648	
2,75	0,3	5	823,44	863	115,2816	-0,3689	3,25	0,4	9	395,9438	
2,75	0,3	6	823,44	864	115,2816	-0,2915	3,25	0,4	10	392,0621	
2,75	0,3	7	823,44	865	115,2816	-0,2140	3,25	0,4	11	397,8541	
2,75	0,3	8	823,44	866	115,2816	-0,1365	3,25	0,4	12	397,5710	
2,75	0,3	9	823,44	867	115,2816	-0,0591	3,5	0,4	8	355,6062	
2,75	0,3	10	823,44	868	115,2816	0,0184	3,5	0,4	9	355,4957	
2,75	0,3	11	823,44	869	115,2816	0,0958	3,5	0,4	11	352,7057	
2,75	0,3	12	823,44	870	115,2816	0,1733	3,5	0,4	12	354,9891	
2,75	0,4	3	506,4304	871	70,900249	0,1761	4	0,3	3	431,1682	
2,75	0,4	4	503,6802	872	70,515228	0,2558	4	0,3	4	432,0946	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,75	0,4	5	513,0399	873	71,825592	0,3097	4	0,3	5	438,0852	
2,75	0,4	6	516,5287	874	72,314011	0,3761	4	0,3	6	438,0375	
2,75	0,4	7	516,4154	875	72,298162	0,4501	4	0,3	7	440,2012	
2,75	0,4	8	522,6021	876	73,164294	0,5108	4	0,3	8	443,5284	
2,75	0,4	9	527,2301	877	73,812218	0,5748	4	0,3	9	446,1885	
2,75	0,4	10	530,8188	878	74,314635	0,6409	4	0,3	10	439,7961	
2,75	0,4	11	536,3549	879	75,089689	0,7030	4	0,3	11	448,5452	
2,75	0,4	12	518,7548	880	72,625672	0,8143	4	0,3	12	454,1028	
2,75	0,5	3	349,0952	881	48,873332	0,4884	1	1	3	613,2646	Máximo:
2,75	0,5	4	349,6173	882	48,946415	0,5578	1	1,1	3	521,7905	622,0654
2,75	0,5	5	355,8336	883	49,816705	0,6157	1	1,1	4	536,3524	Mínimo:
2,75	0,5	6	357,9371	884	50,111197	0,6819	1	1,1	5	521,5438	457,4836
2,75	0,5	7	362,08	885	50,691204	0,7440	1	1,1	6	530,8377	Classe B
2,75	0,5	8	361,9035	886	50,666494	0,8149	1	1,1	7	541,5853	
2,75	0,5	9	371,1671	887	51,963391	0,8665	1	1,1	8	581,8213	
2,75	0,5	10	366,4993	888	51,309902	0,9465	1	1,1	9	551,5913	
2,75	0,5	11	370,9915	889	51,938806	1,0079	1	1,1	10	580,3165	
2,75	0,5	12	384,64	890	53,849606	1,0507	1	1,1	11	601,9050	
2,75	0,6	3	267,0769	891	37,390762	0,6271	1	1,1	12	581,7810	
2,75	0,6	4	274,5147	892	38,432052	0,6801	1	1,2	4	464,4260	
2,75	0,6	5	276,458	893	38,704121	0,7438	1	1,2	5	462,8996	
2,75	0,6	6	274,6436	894	38,450098	0,8148	1	1,2	6	484,8921	
2,75	0,6	7	284,8474	895	39,87863	0,8624	1	1,2	7	483,2838	
2,75	0,6	8	284,7564	896	39,86589	0,9301	1	1,2	8	472,0805	
2,75	0,6	9	280,9144	897	39,328019	1,0051	1	1,2	9	515,3800	
2,75	0,6	10	279,4479	898	39,1227	1,0754	1	1,2	10	493,9885	
2,75	0,6	11	280,6843	899	39,295802	1,1405	1	1,2	11	500,4056	
2,75	0,6	12	297,0457	900	41,586402	1,1761	1	1,2	12	545,8533	
2,75	0,7	3	217,9063	901	30,506882	0,6931	1,25	0,8	3	603,9925	
2,75	0,7	4	220,4234	902	30,859279	0,7531	1,25	0,8	4	618,4923	
2,75	0,7	5	220,5715	903	30,88001	0,8175	1,25	0,8	7	619,9272	
2,75	0,7	6	225,0398	904	31,505568	0,8739	1,25	0,9	4	494,3384	
2,75	0,7	7	231,6889	905	32,43645	0,9262	1,25	0,9	5	498,4999	
2,75	0,7	8	229,456	906	32,123841	0,9951	1,25	0,9	3	501,9831	
2,75	0,7	9	238,2575	907	33,356053	1,0433	1,25	0,9	8	526,7317	
2,75	0,7	10	242,6749	908	33,974485	1,0998	1,25	0,9	12	526,8898	
2,75	0,7	11	242,5678	909	33,959496	1,1647	1,25	0,9	9	526,9595	
2,75	0,7	12	238,0608	910	33,328511	1,2378	1,25	0,9	6	527,0842	
2,75	0,8	3	186,1617	911	26,062637	0,7226	1,25	0,9	7	535,2681	
2,75	0,8	4	184,4064	912	25,81689	0,7879	1,25	0,9	10	545,4618	
2,75	0,8	5	190,5809	913	26,681319	0,8390	1,25	0,9	11	551,6215	
2,75	0,8	6	192,6495	914	26,97093	0,8974	1,25	1	10	457,4836	
2,75	0,8	7	196,6981	915	27,537733	0,9523	1,25	1	8	457,5643	
2,75	0,8	8	192,6852	916	26,975928	1,0217	1,25	1	11	459,9438	
2,75	0,8	9	198,7363	917	27,823086	1,0730	1,25	1	12	494,0273	
2,75	0,8	10	200,6736	918	28,094307	1,1316	1,5	0,7	3	554,8875	
2,75	0,8	11	198,6535	919	27,811487	1,1974	1,5	0,7	8	567,2188	
2,75	0,8	12	209,4893	920	29,328503	1,2401	1,5	0,7	5	567,3697	
2,75	0,9	3	161,4682	921	22,605551	0,7377	1,5	0,7	4	567,4702	
2,75	0,9	4	164,8225	922	23,075146	0,7917	1,5	0,7	6	567,9654	
2,75	0,9	5	167,5328	923	23,454586	0,8468	1,5	0,7	7	577,4893	
2,75	0,9	6	168,7594	924	23,626319	0,9045	1,5	0,7	10	581,5676	
2,75	0,9	7	170,6833	925	23,895666	0,9610	1,5	0,7	12	592,7444	
2,75	0,9	8	166,3424	926	23,28793	1,0282	1,5	0,7	9	592,8068	
2,75	0,9	9	168,8093	927	23,633295	1,0838	1,5	0,7	11	611,9902	
2,75	0,9	10	168,7924	928	23,630942	1,1436	1,5	0,8	5	457,8448	
2,75	0,9	11	185,7091	929	25,999278	1,1742	1,5	0,8	10	460,2564	
2,75	0,9	12	179,9886	930	25,198405	1,2438	1,5	0,8	6	464,4285	
2,75	1	3	142,5415	931	19,955804	0,7422	1,5	0,8	7	464,9743	
2,75	1	4	142,3046	932	19,92265	0,8001	1,5	0,8	12	472,0778	
2,75	1	5	142,4356	933	19,940977	0,8575	1,5	0,8	8	472,2281	
2,75	1	6	149,653	934	20,95142	0,9031	1,5	0,8	9	484,8922	
2,75	1	7	149,6663	935	20,953276	0,9607	1,5	0,8	11	501,3881	
2,75	1	8	156,8391	936	21,957474	1,0064	1,75	0,6	3	555,3958	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
2,75	1	9	160,3975	937	22,455654	1,0580	1,75	0,6	6	560,0431	
2,75	1	10	160,3875	938	22,454253	1,1156	1,75	0,6	4	560,2810	
2,75	1	11	156,7956	939	21,951378	1,1792	1,75	0,6	5	561,9355	
2,75	1	12	165,7237	940	23,201319	1,2220	1,75	0,6	8	565,6902	
2,75	1,1	3	127,9505	941	17,913063	0,7393	1,75	0,6	7	567,9638	
2,75	1,1	4	129,883	942	18,183624	0,7918	1,75	0,6	9	576,3771	
2,75	1,1	5	128,2881	943	17,960328	0,8499	1,75	0,6	11	581,8147	
2,75	1,1	6	133,4969	944	18,689563	0,8971	1,75	0,6	12	598,1972	
2,75	1,1	7	131,8169	945	18,454367	0,9553	1,75	0,6	10	602,8666	
2,75	1,1	8	136,968	946	19,175516	1,0026	1,75	0,7	11	471,2670	
2,75	1,1	9	138,6872	947	19,416214	1,0554	2	0,5	3	604,2931	
2,75	1,1	10	136,9623	948	19,174725	1,1138	2	0,5	4	604,0954	
2,75	1,1	11	150,7125	949	21,099756	1,1473	2	0,5	5	617,7063	
2,75	1,1	12	143,8194	950	20,134716	1,2139	2	0,5	6	613,2646	
2,75	1,2	3	113,969	951	15,955659	0,7357	2	0,5	9	617,4995	
2,75	1,2	4	119,1505	952	16,681063	0,7814	2	0,5	11	622,0169	
2,75	1,2	5	115,9516	953	16,233223	0,8400	2	0,6	8	464,4260	
2,75	1,2	6	119,3273	954	16,705825	0,8884	2	0,6	9	469,5995	
2,75	1,2	7	127,6559	955	17,87182	0,9292	2	0,6	10	462,8996	
2,75	1,2	8	122,687	956	17,176174	0,9905	2	0,6	11	461,2340	
2,75	1,2	9	133,3793	957	18,673096	1,0276	2	0,6	12	484,8921	
2,75	1,2	10	132,6583	958	18,572165	1,0824	2,25	0,5	3	484,8742	
2,75	1,2	11	127,6594	959	17,87231	1,1438	2,25	0,5	4	494,8386	
2,75	1,2	12	139,3067	960	19,502938	1,1794	2,25	0,5	5	496,0525	
3	0,1	3	823,44	961	115,2816	-0,5352	2,25	0,5	6	494,4526	
3	0,1	4	823,44	962	115,2816	-0,4560	2,25	0,5	7	503,4942	
3	0,1	5	823,44	963	115,2816	-0,3769	2,25	0,5	8	494,2782	
3	0,1	6	823,44	964	115,2816	-0,2978	2,25	0,5	9	498,4995	
3	0,1	7	823,44	965	115,2816	-0,2186	2,25	0,5	10	503,3206	
3	0,1	8	823,44	966	115,2816	-0,1395	2,25	0,5	11	521,5916	
3	0,1	9	823,44	967	115,2816	-0,0604	2,25	0,5	12	514,2060	
3	0,1	10	823,44	968	115,2816	0,0188	2,5	0,4	3	604,4765	
3	0,1	11	823,44	969	115,2816	0,0979	2,5	0,4	4	604,2272	
3	0,1	12	823,44	970	115,2816	0,1771	2,5	0,4	5	604,0912	
3	0,2	3	823,44	971	115,2816	-0,5095	2,5	0,4	6	603,9925	
3	0,2	4	823,44	972	115,2816	-0,4342	2,5	0,4	7	618,5718	
3	0,2	5	823,44	973	115,2816	-0,3588	2,5	0,4	8	618,4923	
3	0,2	6	823,44	974	115,2816	-0,2835	2,5	0,4	11	622,0654	
3	0,2	7	823,44	975	115,2816	-0,2081	2,75	0,4	3	506,4304	
3	0,2	8	823,44	976	115,2816	-0,1328	2,75	0,4	4	503,6802	
3	0,2	9	823,44	977	115,2816	-0,0575	2,75	0,4	5	513,0399	
3	0,2	10	823,44	978	115,2816	0,0179	2,75	0,4	6	516,5287	
3	0,2	11	823,44	979	115,2816	0,0932	2,75	0,4	7	516,4154	
3	0,2	12	823,44	980	115,2816	0,1686	2,75	0,4	8	522,6021	
3	0,3	3	749,594	981	104,94316	-0,3330	2,75	0,4	9	527,2301	
3	0,3	4	751,5558	982	105,21781	-0,2652	2,75	0,4	10	530,8188	
3	0,3	5	754,931	983	105,69033	-0,2003	2,75	0,4	11	536,3549	
3	0,3	6	757,6394	984	106,06951	-0,1340	2,75	0,4	12	518,7548	
3	0,3	7	765,8445	985	107,21823	-0,0791	3	0,4	10	457,8448	
3	0,3	8	757,5994	986	106,06392	0,0099	3	0,4	11	461,4426	
3	0,3	9	774,0496	987	108,36695	0,0476	3	0,4	12	464,4285	
3	0,3	10	768,5529	988	107,59741	0,1309	3,5	0,3	3	544,9921	
3	0,3	11	763,0562	989	106,82787	0,2142	3,5	0,3	4	549,9952	
3	0,3	12	757,5596	990	106,05834	0,2975	3,5	0,3	5	549,7201	
3	0,4	3	432,079	991	60,491059	0,3115	3,5	0,3	6	555,3971	
3	0,4	4	436,1415	992	61,05981	0,3722	3,5	0,3	7	554,8875	
3	0,4	5	440,2766	993	61,638721	0,4328	3,5	0,3	8	560,2810	
3	0,4	6	443,5141	994	62,091977	0,4951	3,5	0,3	9	552,5400	
3	0,4	7	439,8662	995	61,581264	0,5711	3,5	0,3	10	561,9355	
3	0,4	8	443,3956	996	62,075388	0,6328	3,5	0,3	11	560,8556	
3	0,4	9	454,1203	997	63,576842	0,6803	3,5	0,3	12	560,0423	
3	0,4	10	457,8448	998	64,098276	0,7416	3,75	0,3	3	481,0247	
3	0,4	11	461,4426	999	64,601963	0,8033	3,75	0,3	4	484,6532	
3	0,4	12	464,4285	1000	65,019991	0,8661	3,75	0,3	5	484,8829	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3	0,5	3	305,4003	1001	42,756035	0,5393	3,75	0,3	6	492,0927	
3	0,5	4	313,0982	1002	43,833751	0,5905	3,75	0,3	7	495,4445	
3	0,5	5	313,2224	1003	43,851133	0,6561	3,75	0,3	8	494,6494	
3	0,5	6	313,2349	1004	43,852886	0,7220	3,75	0,3	9	501,9872	
3	0,5	7	312,3598	1005	43,730365	0,7895	3,75	0,3	10	494,4550	
3	0,5	8	313,1058	1006	43,834812	0,8539	3,75	0,3	11	491,6507	
3	0,5	9	328,7197	1007	46,020761	0,8901	3,75	0,3	12	494,3412	
3	0,5	10	321,0145	1008	44,942026	0,9706	1	1	4	630,3752	Máximo:
3	0,5	11	320,912	1009	44,927686	1,0367	1	1	5	640,3567	713,5791
3	0,5	12	329,9696	1010	46,19574	1,0854	1	1	6	658,63571	Mínimo:
3	0,6	3	236,99	1011	33,178606	0,6424	1	1	7	631,14735	625,7961
3	0,6	4	239,4771	1012	33,5268	0,7010	1	1	8	676,91209	Classe C
3	0,6	5	246,1268	1013	34,457746	0,7521	1	1	9	658,58526	
3	0,6	6	243,9969	1014	34,159562	0,8192	1	1	10	640,29809	
3	0,6	7	248,6581	1015	34,81214	0,8739	1	1	11	701,4652	
3	0,6	8	253,8942	1016	35,545187	0,9276	1	1	12	713,57907	
3	0,6	9	250,3948	1017	35,055269	0,9972	1,25	0,8	5	630,35829	
3	0,6	10	256,7865	1018	35,950103	1,0488	1,25	0,8	6	643,94743	
3	0,6	11	258,8688	1019	36,241625	1,1082	1,25	0,8	8	647,63876	
3	0,6	12	256,6391	1020	35,929468	1,1755	1,25	0,8	9	628,14139	
3	0,7	3	194,3627	1021	27,210771	0,6923	1,25	0,8	10	676,91283	
3	0,7	4	196,9745	1022	27,576423	0,7485	1,25	0,8	11	662,24906	
3	0,7	5	199,0514	1023	27,867197	0,8056	1,25	0,8	12	647,60851	
3	0,7	6	204,8402	1024	28,677634	0,8562	2	0,5	8	630,3752	
3	0,7	7	199,1649	1025	27,883083	0,9269	2	0,5	7	631,2961	
3	0,7	8	210,2246	1026	29,43144	0,9683	2	0,5	10	640,3567	
3	0,7	9	204,8514	1027	28,679199	1,0385	2	0,5	12	658,63571	
3	0,7	10	208,6322	1028	29,208501	1,0927	2,5	0,4	9	625,79611	
3	0,7	11	208,593	1029	29,203013	1,1535	2,5	0,4	10	630,35829	
3	0,7	12	209,5785	1030	29,340993	1,2126	2,5	0,4	12	643,94743	
3	0,8	3	167,1721	1031	23,404093	0,7124	3,25	0,3	3	629,18078	
3	0,8	4	167,4861	1032	23,448055	0,7704	3,25	0,3	4	635,6806	
3	0,8	5	167,7968	1033	23,491551	0,8284	3,25	0,3	5	631,60121	
3	0,8	6	167,718	1034	23,480517	0,8870	3,25	0,3	6	642,45995	
3	0,8	7	171,2525	1035	23,975349	0,9396	3,25	0,3	7	637,03053	
3	0,8	8	181,1081	1036	25,355133	0,9814	3,25	0,3	8	647,80759	
3	0,8	9	173,0204	1037	24,222855	1,0536	3,25	0,3	9	650,50292	
3	0,8	10	174,7598	1038	24,466369	1,1092	3,25	0,3	10	654,93914	
3	0,8	11	180,5359	1039	25,27502	1,1579	3,25	0,3	11	642,22341	
3	0,8	12	188,7415	1040	26,423806	1,2026	3,25	0,3	12	658,66419	
3	0,9	3	142,7441	1041	19,984173	0,7266	1	0,1	3	823,44	Máximo:
3	0,9	4	144,6309	1042	20,24833	0,7799	1	0,1	4	823,44	823,4400
3	0,9	5	148,0876	1043	20,732263	0,8307	1	0,1	5	823,44	Mínimo:
3	0,9	6	148,1675	1044	20,743454	0,8870	1	0,1	6	823,44	749,5940
3	0,9	7	149,8729	1045	20,982207	0,9406	1	0,1	7	823,44	Classe D
3	0,9	8	158,1652	1046	22,143127	0,9836	1	0,1	8	823,44	
3	0,9	9	158,1168	1047	22,136353	1,0400	1	0,1	9	823,44	
3	0,9	10	164,754	1048	23,065554	1,0856	1	0,1	10	823,44	
3	0,9	11	163,0745	1049	22,830427	1,1448	1	0,1	11	823,44	
3	0,9	12	158,1001	1050	22,134013	1,2093	1	0,1	12	823,44	
3	1	3	126,9981	1051	17,779733	0,7262	1	0,2	3	823,44	
3	1	4	131,9539	1052	18,47355	0,7728	1	0,2	4	823,44	
3	1	5	133,6846	1053	18,715841	0,8246	1	0,2	5	823,44	
3	1	6	132,1846	1054	18,505843	0,8814	1	0,2	6	823,44	
3	1	7	132,2314	1055	18,512395	0,9358	1	0,2	7	823,44	
3	1	8	138,5554	1056	19,397759	0,9803	1	0,2	8	823,44	
3	1	9	141,7213	1057	19,840979	1,0298	1	0,2	9	823,44	
3	1	10	141,7221	1058	19,841087	1,0842	1	0,2	10	823,44	
3	1	11	138,5725	1059	19,400147	1,1436	1	0,2	11	823,44	
3	1	12	151,198	1060	21,167717	1,1782	1	0,2	12	823,44	
3	1,1	3	113,4749	1061	15,886492	0,7224	1	0,3	3	823,44	
3	1,1	4	115,2181	1062	16,130531	0,7724	1	0,3	4	823,44	
3	1,1	5	121,455	1063	17,0037	0,8155	1	0,3	5	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3	1,1	6	118,4778	1064	16,586893	0,8727	1	0,3	6	823,44	
3	1,1	7	121,4135	1065	16,997889	0,9209	1	0,3	7	823,44	
3	1,1	8	121,5723	1066	17,020128	0,9732	1	0,3	8	823,44	
3	1,1	9	123,1067	1067	17,234935	1,0235	1	0,3	9	823,44	
3	1,1	10	121,5815	1068	17,021411	1,0785	1	0,3	10	823,44	
3	1,1	11	133,7665	1069	18,727307	1,1126	1	0,3	11	823,44	
3	1,1	12	127,6597	1070	17,872355	1,1745	1	0,3	12	823,44	
3	1,2	3	105,2955	1071	14,741363	0,7110	1	0,4	3	823,44	
3	1,2	4	106,078	1072	14,850921	0,7608	1	0,4	4	823,44	
3	1,2	5	110,6318	1073	15,488458	0,8050	1	0,4	5	823,44	
3	1,2	6	106,3096	1074	14,883338	0,8623	1	0,4	6	823,44	
3	1,2	7	113,7181	1075	15,920534	0,9023	1	0,4	7	823,44	
3	1,2	8	118,1762	1076	16,544662	0,9467	1	0,4	8	823,44	
3	1,2	9	119,6721	1077	16,754094	0,9954	1	0,4	9	823,44	
3	1,2	10	118,1783	1078	16,544962	1,0485	1	0,4	10	823,44	
3	1,2	11	113,7603	1079	15,926441	1,1060	1	0,4	11	823,44	
3	1,2	12	124,09	1080	17,372604	1,1417	1	0,4	12	823,44	
3,25	0,1	3	823,44	1081	115,2816	-0,4959	1	0,5	3	823,44	
3,25	0,1	4	823,44	1082	115,2816	-0,4226	1	0,5	4	823,44	
3,25	0,1	5	823,44	1083	115,2816	-0,3493	1	0,5	5	823,44	
3,25	0,1	6	823,44	1084	115,2816	-0,2759	1	0,5	6	823,44	
3,25	0,1	7	823,44	1085	115,2816	-0,2026	1	0,5	7	823,44	
3,25	0,1	8	823,44	1086	115,2816	-0,1293	1	0,5	8	823,44	
3,25	0,1	9	823,44	1087	115,2816	-0,0559	1	0,5	9	823,44	
3,25	0,1	10	823,44	1088	115,2816	0,0174	1	0,5	10	823,44	
3,25	0,1	11	823,44	1089	115,2816	0,0907	1	0,5	11	823,44	
3,25	0,1	12	823,44	1090	115,2816	0,1641	1	0,5	12	823,44	
3,25	0,2	3	823,44	1091	115,2816	-0,4738	1	0,6	3	823,44	
3,25	0,2	4	823,44	1092	115,2816	-0,4038	1	0,6	4	823,44	
3,25	0,2	5	823,44	1093	115,2816	-0,3337	1	0,6	5	823,44	
3,25	0,2	6	823,44	1094	115,2816	-0,2636	1	0,6	6	823,44	
3,25	0,2	7	823,44	1095	115,2816	-0,1936	1	0,6	7	823,44	
3,25	0,2	8	823,44	1096	115,2816	-0,1235	1	0,6	8	823,44	
3,25	0,2	9	823,44	1097	115,2816	-0,0534	1	0,6	9	823,44	
3,25	0,2	10	823,44	1098	115,2816	0,0166	1	0,6	10	823,44	
3,25	0,2	11	823,44	1099	115,2816	0,0867	1	0,6	11	823,44	
3,25	0,2	12	823,44	1100	115,2816	0,1568	1	0,6	12	823,44	
3,25	0,3	3	629,1808	1101	88,085309	-0,0776	1	0,7	3	823,44	
3,25	0,3	4	635,6806	1102	88,995284	-0,0231	1	0,7	4	823,44	
3,25	0,3	5	631,6012	1103	88,424169	0,0519	1	0,7	5	823,44	
3,25	0,3	6	642,46	1104	89,944393	0,0979	1	0,7	6	823,44	
3,25	0,3	7	637,0305	1105	89,184274	0,1755	1	0,7	7	823,44	
3,25	0,3	8	647,8076	1106	90,693063	0,2217	1	0,7	8	823,44	
3,25	0,3	9	650,5029	1107	91,070409	0,2836	1	0,7	9	823,44	
3,25	0,3	10	654,9391	1108	91,69148	0,3421	1	0,7	10	823,44	
3,25	0,3	11	642,2234	1109	89,911277	0,4338	1	0,7	11	823,44	
3,25	0,3	12	658,6642	1110	92,212987	0,4690	1	0,7	12	823,44	
3,25	0,4	3	380,3633	1111	53,250855	0,3875	1	0,8	3	823,44	
3,25	0,4	4	386,3027	1112	54,082382	0,4408	1	0,8	4	823,44	
3,25	0,4	5	385,8189	1113	54,014643	0,5060	1	0,8	5	823,44	
3,25	0,4	6	385,501	1114	53,970146	0,5709	1	0,8	6	823,44	
3,25	0,4	7	388,9306	1115	54,450284	0,6289	1	0,8	7	823,44	
3,25	0,4	8	386,4648	1116	54,105069	0,6978	1	0,8	8	823,44	
3,25	0,4	9	395,9438	1117	55,432136	0,7445	1	0,8	9	823,44	
3,25	0,4	10	392,0621	1118	54,8887	0,8161	1	0,8	10	823,44	
3,25	0,4	11	397,8541	1119	55,699578	0,8696	1	0,8	11	823,44	
3,25	0,4	12	397,571	1120	55,659943	0,9345	1	0,8	12	823,44	
3,25	0,5	3	274,9459	1121	38,492426	0,5602	1	0,9	4	757,55947	
3,25	0,5	4	277,5226	1122	38,853158	0,6174	1	0,9	7	765,76646	
3,25	0,5	5	276,8476	1123	38,75866	0,6804	1	0,9	6	774,01199	
3,25	0,5	6	276,4007	1124	38,696098	0,7430	1	0,9	3	774,04948	
3,25	0,5	7	280,6423	1125	39,289922	0,7973	1	0,9	5	782,25485	
3,25	0,5	8	279,997	1126	39,199579	0,8602	1	0,9	8	823,44	
3,25	0,5	9	289,3478	1127	40,508685	0,9053	1	0,9	9	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3,25	0,5	10	284,2909	1128	39,800726	0,9762	1	0,9	10	823,44	
3,25	0,5	11	288,5667	1129	40,399335	1,0303	1	0,9	11	823,44	
3,25	0,5	12	288,4934	1130	40,389079	1,0923	1	0,9	12	823,44	
3,25	0,6	3	215,4822	1131	30,167507	0,6411	1,25	0,1	3	823,44	
3,25	0,6	4	214,02	1132	29,962804	0,7030	1,25	0,1	4	823,44	
3,25	0,6	5	221,6133	1133	31,025861	0,7495	1,25	0,1	5	823,44	
3,25	0,6	6	221,722	1134	31,041073	0,8087	1,25	0,1	6	823,44	
3,25	0,6	7	219,9076	1135	30,787057	0,8713	1,25	0,1	7	823,44	
3,25	0,6	8	221,7886	1136	31,050403	0,9275	1,25	0,1	8	823,44	
3,25	0,6	9	231,9823	1137	32,477521	0,9695	1,25	0,1	9	823,44	
3,25	0,6	10	221,7545	1138	31,045623	1,0465	1,25	0,1	10	823,44	
3,25	0,6	11	223,537	1139	31,295174	1,1029	1,25	0,1	11	823,44	
3,25	0,6	12	231,5456	1140	32,41639	1,1486	1,25	0,1	12	823,44	
3,25	0,7	3	175,8976	1141	24,625667	0,6831	1,25	0,2	3	823,44	
3,25	0,7	4	179,3172	1142	25,104405	0,7348	1,25	0,2	4	823,44	
3,25	0,7	5	182,8103	1143	25,593443	0,7863	1,25	0,2	5	823,44	
3,25	0,7	6	179,5892	1144	25,142484	0,8489	1,25	0,2	6	823,44	
3,25	0,7	7	186,3223	1145	26,085126	0,8951	1,25	0,2	7	823,44	
3,25	0,7	8	186,3314	1146	26,086402	0,9524	1,25	0,2	8	823,44	
3,25	0,7	9	191,0338	1147	26,744725	1,0019	1,25	0,2	9	823,44	
3,25	0,7	10	184,4521	1148	25,823298	1,0700	1,25	0,2	10	823,44	
3,25	0,7	11	190,6811	1149	26,69535	1,1170	1,25	0,2	11	823,44	
3,25	0,7	12	199,6315	1150	27,948404	1,1595	1,25	0,2	12	823,44	
3,25	0,8	3	148,9218	1151	20,849045	0,7021	1,25	0,3	3	823,44	
3,25	0,8	4	154,415	1152	21,618106	0,7487	1,25	0,3	4	823,44	
3,25	0,8	5	154,5833	1153	21,641665	0,8037	1,25	0,3	5	823,44	
3,25	0,8	6	157,7913	1154	22,090779	0,8538	1,25	0,3	6	823,44	
3,25	0,8	7	159,7876	1155	22,370257	0,9059	1,25	0,3	7	823,44	
3,25	0,8	8	160,9838	1156	22,537726	0,9593	1,25	0,3	8	823,44	
3,25	0,8	9	166,4775	1157	23,306847	1,0058	1,25	0,3	9	823,44	
3,25	0,8	10	166,2664	1158	23,277295	1,0614	1,25	0,3	10	823,44	
3,25	0,8	11	170,2832	1159	23,839651	1,1103	1,25	0,3	11	823,44	
3,25	0,8	12	167,1814	1160	23,405396	1,1705	1,25	0,3	12	823,44	
3,25	0,9	3	131,5019	1161	18,410262	0,7051	1,25	0,4	3	823,44	
3,25	0,9	4	134,7192	1162	18,860692	0,7536	1,25	0,4	4	823,44	
3,25	0,9	5	131,9662	1163	18,475261	0,8112	1,25	0,4	5	823,44	
3,25	0,9	6	134,8248	1164	18,875476	0,8602	1,25	0,4	6	823,44	
3,25	0,9	7	134,3248	1165	18,805465	0,9144	1,25	0,4	7	823,44	
3,25	0,9	8	140,953	1166	19,733413	0,9576	1,25	0,4	8	823,44	
3,25	0,9	9	145,3746	1167	20,352441	1,0041	1,25	0,4	9	823,44	
3,25	0,9	10	146,8662	1168	20,561262	1,0552	1,25	0,4	10	823,44	
3,25	0,9	11	145,3778	1169	20,352896	1,1109	1,25	0,4	11	823,44	
3,25	0,9	12	140,9502	1170	19,733024	1,1712	1,25	0,4	12	823,44	
3,25	1	3	116,6108	1171	16,325505	0,7041	1,25	0,5	3	823,44	
3,25	1	4	118,1498	1172	16,540978	0,7535	1,25	0,5	4	823,44	
3,25	1	5	119,7052	1173	16,758732	0,8028	1,25	0,5	5	823,44	
3,25	1	6	118,395	1174	16,5753	0,8564	1,25	0,5	6	823,44	
3,25	1	7	121,634	1175	17,028764	0,9032	1,25	0,5	7	823,44	
3,25	1	8	124,1172	1176	17,376411	0,9512	1,25	0,5	8	823,44	
3,25	1	9	126,9535	1177	17,773487	0,9986	1,25	0,5	9	823,44	
3,25	1	10	126,9615	1178	17,774609	1,0502	1,25	0,5	10	823,44	
3,25	1	11	124,1318	1179	17,378452	1,1061	1,25	0,5	11	823,44	
3,25	1	12	135,4261	1180	18,95966	1,1409	1,25	0,5	12	823,44	
3,25	1,1	3	105,8564	1181	14,819889	0,6973	1,25	0,6	3	823,44	
3,25	1,1	4	104,0114	1182	14,561599	0,7499	1,25	0,6	4	823,44	
3,25	1,1	5	109,1174	1183	15,276442	0,7926	1,25	0,6	5	823,44	
3,25	1,1	6	106,4917	1184	14,908831	0,8463	1,25	0,6	6	823,44	
3,25	1,1	7	114,7319	1185	16,062472	0,8845	1,25	0,6	7	823,44	
3,25	1,1	8	109,2835	1186	15,299689	0,9423	1,25	0,6	8	823,44	
3,25	1,1	9	110,6697	1187	15,493758	0,9903	1,25	0,6	9	823,44	
3,25	1,1	10	120,7463	1188	16,904475	1,0258	1,25	0,6	10	823,44	
3,25	1,1	11	120,2878	1189	16,840298	1,0764	1,25	0,6	11	823,44	
3,25	1,1	12	114,7745	1190	16,068424	1,1344	1,25	0,6	12	823,44	
3,25	1,2	3	95,36205	1191	13,350687	0,6904	1,25	0,7	3	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3,25	1,2	4	95,60061	1192	13,384085	0,7386	1,25	0,7	4	823,44	
3,25	1,2	5	99,71429	1193	13,960001	0,7813	1,25	0,7	5	823,44	
3,25	1,2	6	102,1926	1194	14,306964	0,8263	1,25	0,7	6	823,44	
3,25	1,2	7	102,4971	1195	14,349594	0,8743	1,25	0,7	7	823,44	
3,25	1,2	8	106,5303	1196	14,914235	0,9171	1,25	0,7	8	823,44	
3,25	1,2	9	107,8741	1197	15,102371	0,9637	1,25	0,7	9	823,44	
3,25	1,2	10	106,5449	1198	14,91628	1,0140	1,25	0,7	10	823,44	
3,25	1,2	11	102,5392	1199	14,355484	1,0681	1,25	0,7	11	823,44	
3,25	1,2	12	111,896	1200	15,665446	1,1034	1,25	0,7	12	823,44	
3,5	0,1	3	823,44	1201	115,2816	-0,4620	1,5	0,1	3	823,44	
3,5	0,1	4	823,44	1202	115,2816	-0,3937	1,5	0,1	4	823,44	
3,5	0,1	5	823,44	1203	115,2816	-0,3254	1,5	0,1	5	823,44	
3,5	0,1	6	823,44	1204	115,2816	-0,2571	1,5	0,1	6	823,44	
3,5	0,1	7	823,44	1205	115,2816	-0,1888	1,5	0,1	7	823,44	
3,5	0,1	8	823,44	1206	115,2816	-0,1204	1,5	0,1	8	823,44	
3,5	0,1	9	823,44	1207	115,2816	-0,0521	1,5	0,1	9	823,44	
3,5	0,1	10	823,44	1208	115,2816	0,0162	1,5	0,1	10	823,44	
3,5	0,1	11	823,44	1209	115,2816	0,0845	1,5	0,1	11	823,44	
3,5	0,1	12	823,44	1210	115,2816	0,1529	1,5	0,1	12	823,44	
3,5	0,2	3	823,44	1211	115,2816	-0,4428	1,5	0,2	3	823,44	
3,5	0,2	4	823,44	1212	115,2816	-0,3773	1,5	0,2	4	823,44	
3,5	0,2	5	823,44	1213	115,2816	-0,3118	1,5	0,2	5	823,44	
3,5	0,2	6	823,44	1214	115,2816	-0,2464	1,5	0,2	6	823,44	
3,5	0,2	7	823,44	1215	115,2816	-0,1809	1,5	0,2	7	823,44	
3,5	0,2	8	823,44	1216	115,2816	-0,1154	1,5	0,2	8	823,44	
3,5	0,2	9	823,44	1217	115,2816	-0,0499	1,5	0,2	9	823,44	
3,5	0,2	10	823,44	1218	115,2816	0,0155	1,5	0,2	10	823,44	
3,5	0,2	11	823,44	1219	115,2816	0,0810	1,5	0,2	11	823,44	
3,5	0,2	12	823,44	1220	115,2816	0,1465	1,5	0,2	12	823,44	
3,5	0,3	3	544,9921	1221	76,298887	0,0800	1,5	0,3	3	823,44	
3,5	0,3	4	549,9952	1222	76,999332	0,1338	1,5	0,3	4	823,44	
3,5	0,3	5	549,7201	1223	76,960818	0,1971	1,5	0,3	5	823,44	
3,5	0,3	6	555,3971	1224	77,755591	0,2497	1,5	0,3	6	823,44	
3,5	0,3	7	554,8875	1225	77,684243	0,3135	1,5	0,3	7	823,44	
3,5	0,3	8	560,281	1226	78,439334	0,3666	1,5	0,3	8	823,44	
3,5	0,3	9	552,54	1227	77,355601	0,4435	1,5	0,3	9	823,44	
3,5	0,3	10	561,9355	1228	78,670971	0,4893	1,5	0,3	10	823,44	
3,5	0,3	11	560,8556	1229	78,519787	0,5541	1,5	0,3	11	823,44	
3,5	0,3	12	560,0423	1230	78,405925	0,6184	1,5	0,3	12	823,44	
3,5	0,4	3	340,1411	1231	47,619755	0,4342	1,5	0,4	3	823,44	
3,5	0,4	4	343,0041	1232	48,020567	0,4897	1,5	0,4	4	823,44	
3,5	0,4	5	345,7594	1233	48,40632	0,5453	1,5	0,4	5	823,44	
3,5	0,4	6	342,0197	1234	47,882752	0,6123	1,5	0,4	6	823,44	
3,5	0,4	7	345,7341	1235	48,402767	0,6662	1,5	0,4	7	823,44	
3,5	0,4	8	355,6062	1236	49,784871	0,7094	1,5	0,4	8	823,44	
3,5	0,4	9	355,4957	1237	49,769402	0,7701	1,5	0,4	9	823,44	
3,5	0,4	10	348,5354	1238	48,794962	0,8427	1,5	0,4	10	823,44	
3,5	0,4	11	352,7057	1239	49,378794	0,8958	1,5	0,4	11	823,44	
3,5	0,4	12	354,9891	1240	49,698467	0,9523	1,5	0,4	12	823,44	
3,5	0,5	3	247,7077	1241	34,679081	0,5734	1,5	0,5	3	823,44	
3,5	0,5	4	248,199	1242	34,74786	0,6308	1,5	0,5	4	823,44	
3,5	0,5	5	254,0315	1243	35,564414	0,6792	1,5	0,5	5	823,44	
3,5	0,5	6	249,3253	1244	34,905543	0,7453	1,5	0,5	6	823,44	
3,5	0,5	7	250,4273	1245	35,059821	0,8016	1,5	0,5	7	823,44	
3,5	0,5	8	256,1188	1246	35,856629	0,8503	1,5	0,5	8	823,44	
3,5	0,5	9	254,2411	1247	35,593755	0,9116	1,5	0,5	9	823,44	
3,5	0,5	10	263,6324	1248	36,908536	0,9540	1,5	0,5	10	823,44	
3,5	0,5	11	269,275	1249	37,698499	1,0028	1,5	0,5	11	823,44	
3,5	0,5	12	271,1423	1250	37,959916	1,0578	1,5	0,5	12	823,44	
3,5	0,6	3	194,2427	1251	27,193974	0,6395	1,5	0,6	6	757,55354	
3,5	0,6	4	194,6636	1252	27,252908	0,6949	1,5	0,6	4	757,59397	
3,5	0,6	5	195,5058	1253	27,370805	0,7497	1,5	0,6	3	757,63383	
3,5	0,6	6	200,358	1254	28,050117	0,7980	1,5	0,6	10	768,51655	
3,5	0,6	7	204,8206	1255	28,674887	0,8468	1,5	0,6	5	768,54834	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3,5	0,6	8	208,1634	1256	29,142879	0,8976	1,5	0,6	9	774,01347	
3,5	0,6	9	204,88	1257	28,683204	0,9590	1,5	0,6	8	779,50279	
3,5	0,6	10	211,386	1258	29,594036	1,0046	1,5	0,6	11	783,7252	
3,5	0,6	11	214,6623	1259	30,052723	1,0554	1,5	0,6	7	784,99991	
3,5	0,6	12	214,6089	1260	30,04524	1,1116	1,5	0,6	12	823,44	
3,5	0,7	3	159,1894	1261	22,286522	0,6723	1,5	0,1	3	823,44	
3,5	0,7	4	162,1229	1262	22,697202	0,7219	1,5	0,1	4	823,44	
3,5	0,7	5	162,725	1263	22,781504	0,7751	1,5	0,1	5	823,44	
3,5	0,7	6	168,7834	1264	23,62967	0,8198	1,5	0,1	6	823,44	
3,5	0,7	7	165,8578	1265	23,220089	0,8786	1,5	0,1	7	823,44	
3,5	0,7	8	165,9025	1266	23,226344	0,9327	1,5	0,1	8	823,44	
3,5	0,7	9	173,3436	1267	24,268108	0,9752	1,5	0,1	9	823,44	
3,5	0,7	10	177,7947	1268	24,891261	1,0225	1,5	0,1	10	823,44	
3,5	0,7	11	179,2773	1269	25,098816	1,0743	1,5	0,1	11	823,44	
3,5	0,7	12	177,828	1270	24,895921	1,1308	1,5	0,1	12	823,44	
3,5	0,8	3	136,7493	1271	19,144895	0,6838	1,5	0,2	3	823,44	
3,5	0,8	4	138,4505	1272	19,383076	0,7336	1,5	0,2	4	823,44	
3,5	0,8	5	138,6473	1273	19,410628	0,7857	1,5	0,2	5	823,44	
3,5	0,8	6	141,535	1274	19,814896	0,8337	1,5	0,2	6	823,44	
3,5	0,8	7	145,7672	1275	20,407411	0,8797	1,5	0,2	7	823,44	
3,5	0,8	8	144,4303	1276	20,220236	0,9341	1,5	0,2	8	823,44	
3,5	0,8	9	149,9998	1277	20,999965	0,9780	1,5	0,2	9	823,44	
3,5	0,8	10	152,8235	1278	21,395286	1,0261	1,5	0,2	10	823,44	
3,5	0,8	11	152,7976	1279	21,391665	1,0786	1,5	0,2	11	823,44	
3,5	0,8	12	150,0067	1280	21,000937	1,1352	1,5	0,2	12	823,44	
3,5	0,9	3	118,5178	1281	16,592486	0,6884	1,5	0,3	3	823,44	
3,5	0,9	4	121,4618	1282	17,004652	0,7348	1,5	0,3	4	823,44	
3,5	0,9	5	125,5904	1283	17,58265	0,7794	1,5	0,3	5	823,44	
3,5	0,9	6	127,0213	1284	17,782979	0,8280	1,5	0,3	6	823,44	
3,5	0,9	7	129,768	1285	18,167516	0,8747	1,5	0,3	7	823,44	
3,5	0,9	8	127,1194	1286	17,796722	0,9293	1,5	0,3	8	823,44	
3,5	0,9	9	131,1471	1287	18,360587	0,9741	1,5	0,3	9	823,44	
3,5	0,9	10	132,4788	1288	18,547026	1,0228	1,5	0,3	10	823,44	
3,5	0,9	11	131,1436	1289	18,360107	1,0754	1,5	0,3	11	823,44	
3,5	0,9	12	133,286	1290	18,660037	1,1230	1,5	0,3	12	823,44	
3,5	1	3	106,6489	1291	14,93085	0,6837	1,5	0,4	3	823,44	
3,5	1	4	106,92	1292	14,968793	0,7324	1,5	0,4	4	823,44	
3,5	1	5	108,3438	1293	15,168125	0,7795	1,5	0,4	5	823,44	
3,5	1	6	113,3596	1294	15,870348	0,8215	1,5	0,4	6	823,44	
3,5	1	7	116,1833	1295	16,265665	0,8666	1,5	0,4	7	823,44	
3,5	1	8	112,3704	1296	15,731855	0,9211	1,5	0,4	8	823,44	
3,5	1	9	114,9541	1297	16,093573	0,9666	1,5	0,4	9	823,44	
3,5	1	10	114,9799	1298	16,09718	1,0156	1,5	0,4	10	823,44	
3,5	1	11	120,6968	1299	16,897552	1,0566	1,5	0,4	11	823,44	
3,5	1	12	122,6409	1300	17,169732	1,1030	1,5	0,4	12	823,44	
3,5	1,1	3	96,21198	1301	13,469677	0,6773	1,5	0,5	3	823,44	
3,5	1,1	4	98,93	1302	13,8502	0,7212	1,5	0,5	4	823,44	
3,5	1,1	5	99,08149	1303	13,871409	0,7686	1,5	0,5	5	823,44	
3,5	1,1	6	102,478	1304	14,346921	0,8116	1,5	0,5	6	823,44	
3,5	1,1	7	104,1861	1305	14,58605	0,8568	1,5	0,5	7	823,44	
3,5	1,1	8	101,4683	1306	14,205562	0,9082	1,5	0,5	8	823,44	
3,5	1,1	9	101,1313	1307	14,158379	0,9563	1,5	0,5	9	823,44	
3,5	1,1	10	111,7198	1308	15,640771	0,9893	1,5	0,5	10	823,44	
3,5	1,1	11	109,2271	1309	15,291798	1,0404	1,5	0,5	11	823,44	
3,5	1,1	12	104,2629	1310	14,596803	1,0948	1,5	0,5	12	823,44	
3,5	1,2	3	86,74086	1311	12,14372	0,6700	2	0,1	3	823,44	
3,5	1,2	4	86,96969	1312	12,175757	0,7159	2	0,1	4	823,44	
3,5	1,2	5	90,72932	1313	12,702105	0,7571	2	0,1	5	823,44	
3,5	1,2	6	94,46009	1314	13,224413	0,7984	2	0,1	6	823,44	
3,5	1,2	7	93,28647	1315	13,060106	0,8462	2	0,1	7	823,44	
3,5	1,2	8	96,96942	1316	13,575719	0,8875	2	0,1	8	823,44	
3,5	1,2	9	98,19843	1317	13,74778	0,9321	2	0,1	9	823,44	
3,5	1,2	10	97,01312	1318	13,581837	0,9799	2	0,1	10	823,44	
3,5	1,2	11	100,6937	1319	14,097111	1,0212	2	0,1	11	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3,5	1,2	12	101,87	1320	14,261801	1,0658	2	0,1	12	823,44	
3,75	0,1	3	823,44	1321	115,2816	-0,4325	2	0,2	3	823,44	
3,75	0,1	4	823,44	1322	115,2816	-0,3685	2	0,2	4	823,44	
3,75	0,1	5	823,44	1323	115,2816	-0,3046	2	0,2	5	823,44	
3,75	0,1	6	823,44	1324	115,2816	-0,2406	2	0,2	6	823,44	
3,75	0,1	7	823,44	1325	115,2816	-0,1767	2	0,2	7	823,44	
3,75	0,1	8	823,44	1326	115,2816	-0,1127	2	0,2	8	823,44	
3,75	0,1	9	823,44	1327	115,2816	-0,0488	2	0,2	9	823,44	
3,75	0,1	10	823,44	1328	115,2816	0,0152	2	0,2	10	823,44	
3,75	0,1	11	823,44	1329	115,2816	0,0791	2	0,2	11	823,44	
3,75	0,1	12	823,44	1330	115,2816	0,1431	2	0,2	12	823,44	
3,75	0,2	3	823,44	1331	115,2816	-0,4156	2	0,3	3	823,44	
3,75	0,2	4	823,44	1332	115,2816	-0,3541	2	0,3	4	823,44	
3,75	0,2	5	823,44	1333	115,2816	-0,2927	2	0,3	5	823,44	
3,75	0,2	6	823,44	1334	115,2816	-0,2312	2	0,3	6	823,44	
3,75	0,2	7	823,44	1335	115,2816	-0,1698	2	0,3	7	823,44	
3,75	0,2	8	823,44	1336	115,2816	-0,1083	2	0,3	8	823,44	
3,75	0,2	9	823,44	1337	115,2816	-0,0469	2	0,3	9	823,44	
3,75	0,2	10	823,44	1338	115,2816	0,0146	2	0,3	10	823,44	
3,75	0,2	11	823,44	1339	115,2816	0,0760	2	0,3	11	823,44	
3,75	0,2	12	823,44	1340	115,2816	0,1375	2	0,3	12	823,44	
3,75	0,3	3	481,0247	1341	67,343461	0,1844	2	0,4	3	823,44	
3,75	0,3	4	484,6532	1342	67,851442	0,2374	2	0,4	4	823,44	
3,75	0,3	5	484,8829	1343	67,883599	0,2961	2	0,4	5	823,44	
3,75	0,3	6	492,0927	1344	68,892982	0,3430	2	0,4	6	823,44	
3,75	0,3	7	495,4445	1345	69,362223	0,3964	2	0,4	7	823,44	
3,75	0,3	8	494,6494	1346	69,250916	0,4569	2	0,4	8	823,44	
3,75	0,3	9	501,9872	1347	70,278207	0,5035	2	0,4	9	823,44	
3,75	0,3	10	494,455	1348	69,223699	0,5755	2	0,4	10	823,44	
3,75	0,3	11	491,6507	1349	68,831097	0,6394	2	0,4	11	823,44	
3,75	0,3	12	494,3412	1350	69,207765	0,6940	2	0,4	12	823,44	
3,75	0,4	3	306,022	1351	42,84308	0,4656	2,25	0,1	3	823,44	
3,75	0,4	4	308,6557	1352	43,211792	0,5182	2,25	0,1	4	823,44	
3,75	0,4	5	313,0959	1353	43,833432	0,5679	2,25	0,1	5	823,44	
3,75	0,4	6	313,2402	1354	43,853622	0,6247	2,25	0,1	6	823,44	
3,75	0,4	7	312,7539	1355	43,785539	0,6825	2,25	0,1	7	823,44	
3,75	0,4	8	317,421	1356	44,438943	0,7318	2,25	0,1	8	823,44	
3,75	0,4	9	319,4635	1357	44,724889	0,7854	2,25	0,1	9	823,44	
3,75	0,4	10	313,0687	1358	43,829615	0,8530	2,25	0,1	10	823,44	
3,75	0,4	11	321,3709	1359	44,991923	0,8963	2,25	0,1	11	823,44	
3,75	0,4	12	325,4635	1360	45,564893	0,9466	2,25	0,1	12	823,44	
3,75	0,5	3	225,293	1361	31,541026	0,5774	2,25	0,2	3	823,44	
3,75	0,5	4	224,3003	1362	31,402035	0,6340	2,25	0,2	4	823,44	
3,75	0,5	5	231,1503	1363	32,361046	0,6781	2,25	0,2	5	823,44	
3,75	0,5	6	227,9711	1364	31,91595	0,7382	2,25	0,2	6	823,44	
3,75	0,5	7	231,3722	1365	32,392104	0,7878	2,25	0,2	7	823,44	
3,75	0,5	8	238,0281	1366	33,323938	0,8322	2,25	0,2	8	823,44	
3,75	0,5	9	238,039	1367	33,325454	0,8872	2,25	0,2	9	823,44	
3,75	0,5	10	231,4097	1368	32,397351	0,9527	2,25	0,2	10	823,44	
3,75	0,5	11	236,3464	1369	33,088499	0,9999	2,25	0,2	11	823,44	
3,75	0,5	12	237,9708	1370	33,315913	1,0523	2,25	0,2	12	823,44	
3,75	0,6	3	177,5681	1371	24,859535	0,6311	2,25	0,3	3	823,44	
3,75	0,6	4	179,4414	1372	25,121793	0,6813	2,25	0,3	4	823,44	
3,75	0,6	5	181,1273	1373	25,357821	0,7319	2,25	0,3	5	823,44	
3,75	0,6	6	182,7274	1374	25,581832	0,7826	2,25	0,3	6	823,44	
3,75	0,6	7	182,8298	1375	25,596168	0,8356	2,25	0,3	7	823,44	
3,75	0,6	8	185,7711	1376	26,007947	0,8842	2,25	0,3	8	823,44	
3,75	0,6	9	183,1181	1377	25,636538	0,9414	2,25	0,3	9	823,44	
3,75	0,6	10	188,7081	1378	26,419138	0,9860	2,25	0,3	10	823,44	
3,75	0,6	11	191,5999	1379	26,823982	1,0347	2,25	0,3	11	823,44	
3,75	0,6	12	191,5903	1380	26,822642	1,0878	2,25	0,3	12	823,44	
3,75	0,7	3	147,3303	1381	20,626243	0,6553	2,25	0,4	5	750,31011	
3,75	0,7	4	149,0366	1382	20,865127	0,7042	2,25	0,4	4	750,35009	
3,75	0,7	5	153,241	1383	21,453744	0,7493	2,25	0,4	3	751,75171	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
3,75	0,7	6	152,0375	1384	21,285254	0,8025	2,25	0,4	9	757,5593	
3,75	0,7	7	153,8372	1385	21,537208	0,8512	2,25	0,4	6	757,5991	
3,75	0,7	8	159,8151	1386	22,374114	0,8938	2,25	0,4	8	764,88822	
3,75	0,7	9	156,2332	1387	21,872644	0,9505	2,25	0,4	7	772,21709	
3,75	0,7	10	160,2306	1388	22,43228	0,9960	2,25	0,4	12	779,50657	
3,75	0,7	11	161,5751	1389	22,620514	1,0454	2,25	0,4	11	783,17094	
3,75	0,7	12	160,2332	1390	22,432644	1,0988	2,25	0,4	10	786,8355	
3,75	0,8	3	127,6651	1391	17,87311	0,6628	2,5	0,1	3	823,44	
3,75	0,8	4	126,4498	1392	17,702975	0,7143	2,5	0,1	4	823,44	
3,75	0,8	5	131,972	1393	18,476081	0,7561	2,5	0,1	5	823,44	
3,75	0,8	6	128,3107	1394	17,963502	0,8112	2,5	0,1	6	823,44	
3,75	0,8	7	132,1676	1395	18,503467	0,8554	2,5	0,1	7	823,44	
3,75	0,8	8	130,9551	1396	18,333713	0,9069	2,5	0,1	8	823,44	
3,75	0,8	9	136,034	1397	19,044761	0,9494	2,5	0,1	9	823,44	
3,75	0,8	10	138,5911	1398	19,402747	0,9955	2,5	0,1	10	823,44	
3,75	0,8	11	138,5914	1399	19,402796	1,0453	2,5	0,1	11	823,44	
3,75	0,8	12	136,0409	1400	19,045722	1,0987	2,5	0,1	12	823,44	
3,75	0,9	3	111,4609	1401	15,604519	0,6650	2,5	0,2	3	823,44	
3,75	0,9	4	110,5671	1402	15,479398	0,7145	2,5	0,2	4	823,44	
3,75	0,9	5	114,3498	1403	16,008972	0,7575	2,5	0,2	5	823,44	
3,75	0,9	6	115,6678	1404	16,193493	0,8039	2,5	0,2	6	823,44	
3,75	0,9	7	118,1403	1405	16,539642	0,8487	2,5	0,2	7	823,44	
3,75	0,9	8	115,7724	1406	16,208132	0,9002	2,5	0,2	8	823,44	
3,75	0,9	9	119,4368	1407	16,721152	0,9434	2,5	0,2	9	823,44	
3,75	0,9	10	120,6558	1408	16,891805	0,9899	2,5	0,2	10	823,44	
3,75	0,9	11	119,4461	1409	16,72246	1,0398	2,5	0,2	11	823,44	
3,75	0,9	12	130,347	1410	18,248584	1,0729	2,5	0,2	12	823,44	
3,75	1	3	97,37347	1411	13,632286	0,6642	2,5	0,3	3	823,44	
3,75	1	4	97,6411	1412	13,669754	0,7107	2,5	0,3	4	823,44	
3,75	1	5	98,95843	1413	13,85418	0,7557	2,5	0,3	5	823,44	
3,75	1	6	104,8956	1414	14,685383	0,7945	2,5	0,3	6	823,44	
3,75	1	7	106,1325	1415	14,858546	0,8396	2,5	0,3	7	823,44	
3,75	1	8	102,6524	1416	14,371342	0,8911	2,5	0,3	8	823,44	
3,75	1	9	105,0258	1417	14,703618	0,9347	2,5	0,3	9	823,44	
3,75	1	10	105,0342	1418	14,704791	0,9815	2,5	0,3	10	823,44	
3,75	1	11	115,5803	1419	16,181245	1,0141	2,5	0,3	11	823,44	
3,75	1	12	112,0854	1420	15,691952	1,0656	2,5	0,3	12	823,44	
3,75	1,1	3	88,05542	1421	12,327759	0,6572	2,75	0,1	3	823,44	
3,75	1,1	4	90,58093	1422	12,68133	0,6994	2,75	0,1	4	823,44	
3,75	1,1	5	90,70935	1423	12,699309	0,7447	2,75	0,1	5	823,44	
3,75	1,1	6	95,35398	1424	13,349557	0,7840	2,75	0,1	6	823,44	
3,75	1,1	7	95,42421	1425	13,359389	0,8294	2,75	0,1	7	823,44	
3,75	1,1	8	99,99862	1426	13,999807	0,8688	2,75	0,1	8	823,44	
3,75	1,1	9	101,3678	1427	14,191492	0,9125	2,75	0,1	9	823,44	
3,75	1,1	10	102,3335	1428	14,326684	0,9567	2,75	0,1	10	823,44	
3,75	1,1	11	100,0581	1429	14,00814	1,0051	2,75	0,1	11	823,44	
3,75	1,1	12	100,6298	1430	14,088176	1,0498	2,75	0,1	12	823,44	
3,75	1,2	3	79,55078	1431	11,137109	0,6496	2,75	0,2	3	823,44	
3,75	1,2	4	83,28083	1432	11,659316	0,6890	2,75	0,2	4	823,44	
3,75	1,2	5	83,24139	1433	11,653795	0,7332	2,75	0,2	5	823,44	
3,75	1,2	6	86,66368	1434	12,132915	0,7731	2,75	0,2	6	823,44	
3,75	1,2	7	85,60533	1435	11,984746	0,8186	2,75	0,2	7	823,44	
3,75	1,2	8	88,97389	1436	12,456345	0,8585	2,75	0,2	8	823,44	
3,75	1,2	9	90,1177	1437	12,616478	0,9012	2,75	0,2	9	823,44	
3,75	1,2	10	89,01003	1438	12,461404	0,9468	2,75	0,2	10	823,44	
3,75	1,2	11	97,94533	1439	13,712346	0,9796	2,75	0,2	11	823,44	
3,75	1,2	12	93,50403	1440	13,090564	1,0294	2,75	0,2	12	823,44	
4	0,1	3	823,44	1441	115,2816	-0,4065	2,75	0,3	3	823,44	
4	0,1	4	823,44	1442	115,2816	-0,3464	2,75	0,3	4	823,44	
4	0,1	5	823,44	1443	115,2816	-0,2863	2,75	0,3	5	823,44	
4	0,1	6	823,44	1444	115,2816	-0,2262	2,75	0,3	6	823,44	
4	0,1	7	823,44	1445	115,2816	-0,1661	2,75	0,3	7	823,44	
4	0,1	8	823,44	1446	115,2816	-0,1060	2,75	0,3	8	823,44	
4	0,1	9	823,44	1447	115,2816	-0,0458	2,75	0,3	9	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
4	0,1	10	823,44	1448	115,2816	0,0143	2,75	0,3	10	823,44	
4	0,1	11	823,44	1449	115,2816	0,0744	2,75	0,3	11	823,44	
4	0,1	12	823,44	1450	115,2816	0,1345	2,75	0,3	12	823,44	
4	0,2	3	823,44	1451	115,2816	-0,3915	3	0,1	3	823,44	
4	0,2	4	823,44	1452	115,2816	-0,3336	3	0,1	4	823,44	
4	0,2	5	823,44	1453	115,2816	-0,2757	3	0,1	5	823,44	
4	0,2	6	823,44	1454	115,2816	-0,2178	3	0,1	6	823,44	
4	0,2	7	823,44	1455	115,2816	-0,1599	3	0,1	7	823,44	
4	0,2	8	823,44	1456	115,2816	-0,1020	3	0,1	8	823,44	
4	0,2	9	823,44	1457	115,2816	-0,0442	3	0,1	9	823,44	
4	0,2	10	823,44	1458	115,2816	0,0137	3	0,1	10	823,44	
4	0,2	11	823,44	1459	115,2816	0,0716	3	0,1	11	823,44	
4	0,2	12	823,44	1460	115,2816	0,1295	3	0,1	12	823,44	
4	0,3	3	431,1682	1461	60,363552	0,2545	3	0,2	3	823,44	
4	0,3	4	432,0946	1462	60,49325	0,3088	3	0,2	4	823,44	
4	0,3	5	438,0852	1463	61,331925	0,3550	3	0,2	5	823,44	
4	0,3	6	438,0375	1464	61,32525	0,4109	3	0,2	6	823,44	
4	0,3	7	440,2012	1465	61,628164	0,4633	3	0,2	7	823,44	
4	0,3	8	443,5284	1466	62,09397	0,5137	3	0,2	8	823,44	
4	0,3	9	446,1885	1467	62,466387	0,5653	3	0,2	9	823,44	
4	0,3	10	439,7961	1468	61,571457	0,6314	3	0,2	10	823,44	
4	0,3	11	448,5452	1469	62,796328	0,6732	3	0,2	11	823,44	
4	0,3	12	454,1028	1470	63,574389	0,7201	3	0,2	12	823,44	
4	0,4	3	279,6436	1471	39,150097	0,4815	3	0,3	3	749,59397	
4	0,4	4	281,6354	1472	39,428959	0,5323	3	0,3	4	751,55577	
4	0,4	5	280,0862	1473	39,212065	0,5887	3	0,3	5	754,93095	
4	0,4	6	282,068	1474	39,489523	0,6395	3	0,3	6	757,63936	
4	0,4	7	287,45	1475	40,242993	0,6851	3	0,3	7	765,84447	
4	0,4	8	289,4334	1476	40,520672	0,7359	3	0,3	8	757,5994	
4	0,4	9	293,0328	1477	41,024593	0,7842	3	0,3	9	774,04964	
4	0,4	10	289,3918	1478	40,514853	0,8438	3	0,3	10	768,55291	
4	0,4	11	298,4005	1479	41,776067	0,8837	3	0,3	11	763,05624	
4	0,4	12	297,4487	1480	41,642817	0,9391	3	0,3	12	757,55958	
4	0,5	3	206,5515	1481	28,917203	0,5755	3,25	0,1	3	823,44	
4	0,5	4	206,0725	1482	28,850156	0,6284	3,25	0,1	4	823,44	
4	0,5	5	209,5783	1483	29,340968	0,6752	3,25	0,1	5	823,44	
4	0,5	6	211,9072	1484	29,667012	0,7239	3,25	0,1	6	823,44	
4	0,5	7	216,45	1485	30,302999	0,7692	3,25	0,1	7	823,44	
4	0,5	8	212,0818	1486	29,691453	0,8279	3,25	0,1	8	823,44	
4	0,5	9	212,0848	1487	29,691876	0,8800	3,25	0,1	9	823,44	
4	0,5	10	220,9828	1488	30,937586	0,9187	3,25	0,1	10	823,44	
4	0,5	11	221,0564	1489	30,947896	0,9708	3,25	0,1	11	823,44	
4	0,5	12	220,9079	1490	30,927099	1,0231	3,25	0,1	12	823,44	
4	0,6	3	164,1247	1491	22,977455	0,6188	3,25	0,2	3	823,44	
4	0,6	4	167,1714	1492	23,403992	0,6648	3,25	0,2	4	823,44	
4	0,6	5	168,9336	1493	23,650707	0,7127	3,25	0,2	5	823,44	
4	0,6	6	168,1708	1494	23,543918	0,7643	3,25	0,2	6	823,44	
4	0,6	7	173,0968	1495	24,233558	0,8076	3,25	0,2	7	823,44	
4	0,6	8	167,7583	1496	23,486165	0,8658	3,25	0,2	8	823,44	
4	0,6	9	176,9592	1497	24,774282	0,9029	3,25	0,2	9	823,44	
4	0,6	10	170,4031	1498	23,856434	0,9629	3,25	0,2	10	823,44	
4	0,6	11	173,0539	1499	24,227542	1,0095	3,25	0,2	11	823,44	
4	0,6	12	173,0393	1500	24,225501	1,0600	3,25	0,2	12	823,44	
4	0,7	3	137,5868	1501	19,262156	0,6370	3,5	0,1	3	823,44	
4	0,7	4	137,6352	1502	19,268931	0,6858	3,5	0,1	4	823,44	
4	0,7	5	139,4214	1503	19,518996	0,7322	3,5	0,1	5	823,44	
4	0,7	6	138,3174	1504	19,364442	0,7826	3,5	0,1	6	823,44	
4	0,7	7	144,4823	1505	20,227519	0,8228	3,5	0,1	7	823,44	
4	0,7	8	145,7579	1506	20,4061	0,8699	3,5	0,1	8	823,44	
4	0,7	9	142,1546	1507	19,90165	0,9239	3,5	0,1	9	823,44	
4	0,7	10	145,8194	1508	20,414715	0,9676	3,5	0,1	10	823,44	
4	0,7	11	147,074	1509	20,590366	1,0147	3,5	0,1	11	823,44	
4	0,7	12	145,86	1510	20,420406	1,0653	3,5	0,1	12	823,44	
4	0,8	3	116,6754	1511	16,33455	0,6464	3,5	0,2	3	823,44	

DADOS ORIGINAIS							DADOS ORDENADOS POR CLASSES				
COP	Rt	CTF	a	Nº Simulação	Custo da energia	Benefício marginal	COP	Rt	CTF	ENERGIA	
4	0,8	4	119,3087	1512	16,703211	0,6902	3,5	0,2	4	823,44	
4	0,8	5	120,6632	1513	16,892845	0,7358	3,5	0,2	5	823,44	
4	0,8	6	124,2473	1514	17,394619	0,7783	3,5	0,2	6	823,44	
4	0,8	7	120,8824	1515	16,923537	0,8303	3,5	0,2	7	823,44	
4	0,8	8	123,6768	1516	17,314752	0,8739	3,5	0,2	8	823,44	
4	0,8	9	124,4271	1517	17,419794	0,9203	3,5	0,2	9	823,44	
4	0,8	10	126,7413	1518	17,743785	0,9645	3,5	0,2	10	823,44	
4	0,8	11	126,7658	1519	17,747212	1,0119	3,5	0,2	11	823,44	
4	0,8	12	124,4508	1520	17,423108	1,0625	3,5	0,2	12	823,44	
4	0,9	3	102,2368	1521	14,313156	0,6466	3,75	0,1	3	823,44	
4	0,9	4	105,2955	1522	14,741363	0,6886	3,75	0,1	4	823,44	
4	0,9	5	104,93	1523	14,690194	0,7351	3,75	0,1	5	823,44	
4	0,9	6	106,1534	1524	14,861472	0,7795	3,75	0,1	6	823,44	
4	0,9	7	108,4386	1525	15,181408	0,8225	3,75	0,1	7	823,44	
4	0,9	8	106,2727	1526	14,878174	0,8714	3,75	0,1	8	823,44	
4	0,9	9	109,6248	1527	15,347473	0,9130	3,75	0,1	9	823,44	
4	0,9	10	110,7661	1528	15,50725	0,9575	3,75	0,1	10	823,44	
4	0,9	11	109,6611	1529	15,35255	1,0050	3,75	0,1	11	823,44	
4	0,9	12	119,6949	1530	16,75729	1,0377	3,75	0,1	12	823,44	
4	1	3	91,42489	1531	12,799485	0,6422	3,75	0,2	3	823,44	
4	1	4	94,11304	1532	13,175826	0,6834	3,75	0,2	4	823,44	
4	1	5	96,41849	1533	13,498589	0,7252	3,75	0,2	5	823,44	
4	1	6	96,53905	1534	13,515467	0,7697	3,75	0,2	6	823,44	
4	1	7	97,67216	1535	13,674102	0,8130	3,75	0,2	7	823,44	
4	1	8	94,64273	1536	13,249982	0,8616	3,75	0,2	8	823,44	
4	1	9	96,66387	1537	13,532942	0,9037	3,75	0,2	9	823,44	
4	1	10	96,69286	1538	13,537	0,9484	3,75	0,2	10	823,44	
4	1	11	106,4036	1539	14,896505	0,9806	3,75	0,2	11	823,44	
4	1	12	103,1701	1540	14,44382	1,0295	3,75	0,2	12	823,44	
4	1,1	3	81,15974	1541	11,362364	0,6373	4	0,1	3	823,44	
4	1,1	4	83,49755	1542	11,689657	0,6778	4	0,1	4	823,44	
4	1,1	5	83,64325	1543	11,710055	0,7211	4	0,1	5	823,44	
4	1,1	6	87,93039	1544	12,310255	0,7592	4	0,1	6	823,44	
4	1,1	7	87,99033	1545	12,318646	0,8026	4	0,1	7	823,44	
4	1,1	8	92,22637	1546	12,911692	0,8408	4	0,1	8	823,44	
4	1,1	9	94,36371	1547	13,210919	0,8816	4	0,1	9	823,44	
4	1,1	10	94,38615	1548	13,214061	0,9251	4	0,1	10	823,44	
4	1,1	11	92,30547	1549	12,922766	0,9711	4	0,1	11	823,44	
4	1,1	12	100,6966	1550	14,097527	1,0041	4	0,1	12	823,44	
4	1,2	3	75,375	1551	10,5525	0,6272	4	0,2	3	823,44	
4	1,2	4	77,76348	1552	10,886887	0,6666	4	0,2	4	823,44	
4	1,2	5	76,87971	1553	10,763159	0,7100	4	0,2	5	823,44	
4	1,2	6	80,0512	1554	11,207168	0,7484	4	0,2	6	823,44	
4	1,2	7	79,07236	1555	11,07013	0,7919	4	0,2	7	823,44	
4	1,2	8	82,20272	1556	11,508381	0,8304	4	0,2	8	823,44	
4	1,2	9	83,25937	1557	11,656312	0,8714	4	0,2	9	823,44	
4	1,2	10	82,25289	1558	11,515405	0,9150	4	0,2	10	823,44	
4	1,2	11	90,4867	1559	12,668138	0,9472	4	0,2	11	823,44	
4	1,2	12	86,38285	1560	12,093599	0,9945	4	0,2	12	823,44	

Anexo C

Para podermos associar a cada aparelho frigorífico apresentado na Tabela 4-7 para cada um dos grupos de utilizadores propostos: pequeno utilizador (PU),; médio utilizador (MU); e grande utilizador (GU) baseado na seleção efetuada pelos fabricantes de compressores e misturas de gases refrigerantes tal como apresentado na Figura 0-4.

Misturas		50Hz		Compressores LBP (Baixa Pressão de Retorno)									
REFRIGERADORES													
CAPACIDADE (litros)		COMPRESSOR				CAPACITOR	TUBO CAPILAR						
Temperatura Ambiente		Modelo	Capacidade Frigorífica Btu/h	Eficiência Btu/Wh	Referência Comercial HP	Capacitância μF	Diâmetro Interno		Comprimento		Circulação de N ₂ a 10 atm /min	Temperatura de Evaporação	
32°C	43°C					220V50Hz / 220-240V50Hz	pol	mm	pol	mm			
Até 90	Até 80	EM 20NP	165	2,70	1/12	-	0,025 0,028	0,63 0,71	99 132	2500 3350	3,5	-20°C a -10°C	
Até 220	Até 180	EM 30NP	245	3,10	1/10	-	0,025 0,028	0,63 0,71	45 79	1150 2000	8,4		
		EMI 30ER	290	3,95		53 a 64 - 180 VAC	0,031	0,80	140	3550			
160 a 300	130 a 240	EM 40NP	350	3,57	1/8	-	0,028 0,031	0,71 0,80	61 110	1550 2800	9,4		
		EMI 45ER	380	4,10		53 a 64 - 190 VAC	0,035	0,90	197	5000			
220 a 400	180 a 300	EM 55NP	470	3,73	1/6	-	0,028 0,031	0,71 0,80	49 87	1250 2200	10,5		
		EMI 55ER	480	4,25		108 a 130 - 220 VAC	0,035	0,90	157	4000			
250 a 450	215 a 350	EM 65NP	545	3,89	1/5	-	0,028 0,031	0,71 0,80	49 87	1250 2200	10,5		
		FF 68K	555	4,05		88 a 108 - 180 VAC	0,035	0,90	157	4000			
300 a 500	250 a 400	FF 7,5BK	627	3,97	1/5+	88 a 108 - 180 VAC	0,031 0,035	0,80 0,90	69 124	1750 3150	11,9		
		FFU 60BK	631	4,44		145 a 175 - 235 VAC	0,039	1,00	203	5150			
400 a 600	300 a 500	FF 8,5BK	715	3,86	1/4	108 a 130 - 180 VAC	0,031 0,035	0,80 0,90	51 94	1300 2400	13,5		
		FFU 70AK	700	4,80		64 a 77 - 220 VAC	0,039	1,00	157	4000			
500 a 800	400 a 600	FF 10BK	793	3,81	1/4+	108 a 130 - 180 VAC	0,035 0,039	0,90 1,00	65 106	1650 2700	16,5		
		FFU 80AK	750	4,74		108 a 130 - 220 VAC	0,042	1,07	153	3900			

Figura 0-4 Tabela de compressores (fonte EMBRACO)

A Tabela 4-11 e Tabela 4-12 é construída a partir da diferença de valores entre um agregado com e sem função DSR-SFC para cada um dos cenários “over” e “under frequency” apresentada respetivamente na Tabela 0-2 e na Tabela 0-2.

Tabela 0-2 Resultados da simulação agregado c/s DSR-SFC cenário "over frequency"

AGREGADO COM DSR-SFC													AGREGADO SEM DSR-SFC							
Curva	Intervalo de funcionamento do DSR SFC [Hz]		Variação Máxima do (set-point) [°C]	Declive da reta	Energia total (6h) [MWh]	Energia na perturbação (30min) [MWh]	Potência total [MW]			Frequência [Hz]			Energia total (6h) [MWh]	Energia na perturbação (30min) [MWh]	Potência total [MW]			Frequência [Hz]		
	Máximo	Mínimo					Máxima	Mínima	Variação	Máxima	Mínima	Variação			Máxima	Mínima	Variação	Máxima	Mínima	Variação
1	54,5	50,5	1	-0,25	137162,33	8254,79	2078,49	1292,55	785,94	52,19	49,57	2,62	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
2	54,5	50,5	2	-0,50	137149,66	8425,49	2078,49	1350,27	728,22	52,00	49,57	2,43	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
3	54,5	50,5	3	-0,75	137110,78	8487,04	2078,49	1342,05	736,44	52,03	49,57	2,45	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
4	53,5	50,5	1	-0,33	137181,32	8306,51	2078,49	1333,08	745,41	52,06	49,57	2,48	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
5	53,5	50,5	2	-0,67	137127,02	8472,31	2078,49	1350,33	728,16	52,00	49,57	2,43	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
6	53,5	50,5	3	-1,00	137115,96	8557,96	2078,49	1355,67	722,82	51,98	49,57	2,41	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
7	52,5	50,5	1	-0,50	137149,66	8425,49	2078,49	1350,27	728,22	52,00	49,57	2,43	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
8	52,5	50,5	2	-1,00	137115,96	8557,96	2078,49	1355,67	722,82	51,98	49,57	2,41	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
9	52,5	50,5	3	-1,50	137023,25	8668,48	2078,49	1333,08	745,41	52,06	49,57	2,48	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
10	51,5	50,5	1	-1,00	137043,90	8566,46	2078,49	1342,05	736,44	52,03	49,57	2,45	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
11	51,5	50,5	2	-2,00	136963,72	8712,93	2078,49	1333,08	745,41	52,06	49,57	2,48	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69
12	51,5	50,5	3	-3,00	137078,34	8870,24	2078,49	1473,54	604,95	51,59	49,57	2,02	137065,54	7990,28	2078,49	1271,79	806,70	52,26	49,57	2,69

Tabela 0-3 Resultados da simulação agregado c/s DSR-SFC cenário "under frequency"

AGREGADO COM DSR-SFC													AGREGADO SEM DSR-SFC								
Curva	Intervalo de funcionamento do DSR SFC [Hz]		Variação Máxima do (set-point) [°C]	Declive da reta	Energia total (6h) [MWh]	Energia na perturbação (30min) [1MWh]	Potência do agregado [MW]			Frequência [Hz]			Energia total (6h) [MWh]	Energia na perturbação (30min) [MWh]	Potência do agregado [MW]			Frequência [Hz]			
	Máximo	Mínimo					Máxima	Mínima	Variação	Máxima	Mínima	Variação			Máxima	Mínima	Variação	Máxima	Mínima	Variação	
01	49,5	45,5	1	-0,25	146022,90	16583,61	2888,97	1829,25	1059,72	50,4025	46,8701	3,5324	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
02	49,5	45,5	2	-0,50	145928,77	16363,75	2743,23	1829,25	913,98	50,4025	47,3559	3,0466	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
03	49,5	45,5	3	-0,75	145872,13	16288,54	2773,11	1829,25	943,86	50,4025	47,2563	3,1462	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
04	49,5	46,5	1	-0,33	146001,36	16476,36	2793,03	1829,25	963,78	50,4025	47,1899	3,2126	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
05	49,5	46,5	2	-0,67	145902,05	16321,14	2788,23	1829,25	958,98	50,4025	47,2059	3,1966	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
06	49,5	46,5	3	-1,00	145842,33	16259,26	2731,32	1829,25	902,07	50,4025	47,3956	3,0069	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
07	49,5	47,5	1	-0,50	145941,32	16380,02	2743,23	1829,25	913,98	50,4025	47,3559	3,0466	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
08	49,5	47,5	2	-1,00	145842,29	16262,48	2731,32	1829,25	902,07	50,4025	47,3956	3,0069	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
09	49,5	47,5	3	-1,50	145842,43	16247,83	2731,32	1829,25	902,07	50,4025	47,3956	3,0069	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
010	49,5	48,5	1	-1,00	145941,34	16379,99	2743,23	1829,25	913,98	50,4025	47,3559	3,0466	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
011	49,5	48,5	2	-2,00	145842,26	16262,52	2731,32	1829,25	902,07	50,4025	47,3956	3,0069	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	
012	49,5	48,5	3	-3,00	145842,60	6247,89	2731,32	1829,25	902,07	50,4025	47,3956	3,0069	146065,54	16990,28	2915,94	1829,25	1086,69	50,40	46,78	3,62	